

# **Lajitteluareenan jätevirrat ja jätteenkäsittelytoiminnan taloudellinen tarkastelu**



Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Diplomityö

Terhi Leiviskä

Helsinki 15. elokuuta 2013

Valvoja:

Professori Juha Kaila, TkT

Ohjaaja:

Katri Päivärinta, DI

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Oulun Jätehuolto liikelaitoksen Ruskon jätekeskukseen vuoden 2012 lokakuussa valmistuneen jätteiden lajitteluareenan toiminnasta. Lajitteluareenalla käsitellään jätettä mekaanisesti hyödynnettävien materiaali-jakeiden talteenottamiseksi ja prosessoidaan jätettä toimitettavaksi jätteenpolttolaitokselle. Jätteenkäsittelyssä muodostuu myös rejektia, joka loppusijoitetaan kaatopaikalle. Diplomityössä selvitetään jätteenkäsittelytoiminnan jätevirtojen määrät sekä lopputuotteiden ominaisuudet ja laatu. Lisäksi jätteenkäsittelytoiminnan taloudellisuutta tarkastellaan materiaalivirta-analyysiin kehitetyn STAN-ohjelmiston avulla.

Kiitos Oulun Jätehuolto liikelaitoksen henkilökunnalle lajittelututkimuksen toteuttamiseen tarvitusta suuresta avusta. Erityisesti kiitokset mielenkiintoisen aiheen ideoinnista Oulun Jätehuolto liikelaitoksen johtajalle Markku Illikaiselle ja kehityspäällikkö Jari Kangasniemelle sekä työn ohjaajalle ympäristöinsinööri Katri Päivärinnalle. Kommenttinne ja asiantuntemuksenne ovat auttaneet merkittävästi työn sisällön kehittämisessä.

Kiitos ystäville kannustuksesta työn loppuun saattamiseksi.

Helsingissä 15.8.2013

Terhi Leiviskä



## AALTO-YLIOPISTON INSINÖÖRITIEDEIDEN KORKEAKOULU

## DIPLOMITYÖN

## Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos

## TIIVISTELMÄ

Tekijä Terhi Leiviskä

Diplomityö Lajitteluareenan jätevirrat ja jätteenkäsittelytoiminnan taloudellinen tarkastelu

Koulutusohjelma Ympäristötekniikka

Professuurikoodi Yhd-73

Valvoja Professori TkT Juha Kaila

Työn ohjaaja DI Katri Päivärinta

Päivämäärä 15.8.2013

Sivumäärä 110

Kieli suomi

Lajitteluareena on jätteiden lajittelulaitos, jossa jätettä käsitellään mekaanisesti kierrätettävien materiaalien talteenottamiseksi ja polttoaineen valmistamiseksi jätteenpolttolaitokselle. Jätteenkäsittelyssä muodostuu rejektia, joka loppusijoitetaan kaatopaikalle. Diplomityön tutkimusaikana 24.10.2012 – 30.4.2013 lajitteluareenalla vastaanotetusta seka- ja rakennusjätteestä materiaalihyödyntämiseen ohjautui 16 %, energiahyödyntämiseen 74 % ja loppusijoitettavaksi vain 10 %. Jätteen laitospolisella käsittelyllä voidaan edistää kansallisen jätepolitiikan mukaisia kierrätys- ja hyötykäyttötavoitteita ja vähentää kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrää.

Lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan lopputuotteiden ominaisuuksia tutkittiin lajittelututkimuksella ja laboratorioanalyysillä. Lajittelututkimuksen perusteella energiahyödynnettävän polttokelpoisen jätteen määrältään suurimmat materiaali-jakeet olivat puu- ja muovijätteet ja loppusijoitettavan rejektin puolestaan kipsilevyt ja eristevillat. Energiahyödynnettävän polttokelpoisen jätteen luokittelu standardin SFS-EN 15359 perusteella on tehollinen lämpöarvo (NCV) 4; klooripitoisuus (Cl) 5; elohopeapitoisuus (Hg) 3. Loppusijoitettava rejekti täyttää tavanomaisen kaatopaikan kaatopaikkakelpoisuuden vaatimukset liuenneen orgaanisen aineksen (DOC 1200 mg/kg ja 2170 mg/kg) ja orgaanisen aineksen kokonaispitoisuutta (TOC 7,6 % ja 5,9 %) lukuun ottamatta.

Lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan taloudellisella tarkastelulla selvitettiin, kuinka paljon materiaalina hyödynnettäviä jakeita jätteestä voidaan taloudellisesti kierrättää. Jätteenkäsittelytoiminnan taloudellisuutta tarkasteltiin materiaalivirta-analyysiin (MFA) tarkoitetulla STAN-ohjelmistolla kolmessa eri vaihtoehdossa. Materiaalivirta-analyysin perusteella jätteenkäsittelijälle on taloudellisesti kannattavaa nostaa materiaalien talteenottoaste mahdollisimman korkeaksi, koska jätteenkäsittelytoiminnan suurimmat kustannukset aiheutuvat energiahyödynnettävästä polttokelpoisesta jätteestä. Materiaalien talteenottoa voitaisiin tehostaa muun muassa puujätteen ja pahvin sekä käsittelemättömän kipsilevyjätteen osalta.

Tulevaisuudessa lajitteluareenalle voitaisiin sijoittaa koneellisista erottelulaitteista koostuva jätteenkäsittelylinja, joka mahdollistaisi tehokkaamman materiaalien talteenoton, hyvälaatuisen kierrätyspolttoaineen (SRF) valmistuksen ja parantaisi loppusijoitettavan rejektin laatua orgaanisen aineksen osalta.

**Avainsanat** Lajitteluareena, lajittelulaitos, seka- ja rakennusjäte, mekaaninen jätteenkäsittely, materiaali- ja energiahyödyntäminen, lajittelututkimus, jätteen orgaaninen aines, kaatopaikkakelpoisuus, kierrätyspolttoaineanalyysi, materiaalivirta-analyysi, STAN-ohjelmisto, jätteenkäsittelyn kustannukset

## AALTO-UNIVERSITY SCHOOL OF ENGINEERING

## ABSTRACT OF THE

## Department of Civil and Environmental Engineering

## MASTER'S THESIS

---

**Author** Terhi Leiviskä

---

**Title of thesis** Waste streams of the sorting facility and waste treatment economics

---

**Degree programme** Environmental Technology

---

**Code of professorship** Yhd-73

---

**Thesis supervisor** Juha Kaila, D.Sc. (Tech)

---

**Thesis advisor** Katri Päivärinta, DI

---

**Date** 15.8.2013

---

**Number of pages** 110

---

**Language** Finnish

---

This master's thesis focuses on a waste sorting facility, in which municipal solid waste (MSW) and construction and demolition (C&D) waste is treated mechanically. The end products of the waste sorting facility are recyclable materials and energy waste, which is incinerated in Waste-to-Energy plant. Waste treatment also produces reject, which is landfilled. The study was carried out during 24.10.2012 – 30.4.2013 and at that time 16 % of the waste was treated for material recovery, 74 % for energy waste and only 10 % of the waste was disposed of landfill. Treating waste in a sorting facility makes it possible to achieve the waste recycling and utilization targets of the national waste policy and also diminishes the amount of waste disposed of landfills.

The quality of the end products of the waste sorting facility was studied by waste sampling, laboratory tests and analytical methods. Based on the waste sampling the quantitatively largest material fractions in energy waste were wood and plastic waste and in turn in reject plaster boards and insulation materials. The studied energy waste was classified according to European standard SFS-EN 15359: net calorific value (NCV) 4; chlorine content (Cl) 5; mercury content (Hg) 3. The studied reject achieved the criteria for acceptance at non-hazardous landfill by compliance test except for the amount of dissolved organic carbon (DOC 1200 mg/kg and 2170 mg/kg) and total organic carbon (TOC 7,6 % and 5,9 %).

An economic analysis for the waste treatment at sorting facility was also fulfilled. The aim was to find out, how much recyclable materials it is possible to recover economically. The economics analysis was conducted by material flow analysis (MFA) and STAN-software and three different waste stream scenarios of the waste sorting facility were studied. According to the results of the material flow analysis it is economically profitable to increase the recovery rate of the recyclable materials as high as possible, because the costs for energy waste treatment are highest.

In the future waste treatment at the sorting facility could consist of multiple unit operations of mechanical sorting techniques that could result in higher material recovery rates and could enable high quality solid recovered fuel (SRF) processing. Investing in advanced sorting techniques at the sorting facility could also diminish the amount of organic matter in the reject.

---

**Keywords** waste sorting facility, municipal solid waste, construction and demolition waste, mechanical treatment, material and energy recovery, waste sampling and composition, organic matter in waste, acceptability of waste at landfills, quality of solid recovered fuel, material flow analysis, STAN-software, waste treatment economics

---



## SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT.....	1
TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT.....	3
KUVALUETTELO.....	6
TAULUKKOLUETTELO.....	8
LYHENTEET.....	9
MÄÄRITELMÄT.....	11
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>14</b>
1.1 TUTKIMUKSEN TAUSTA.....	14
1.2 TUTKIMUSONGELMA JA TAVOITTEET .....	15
<b>2 VASTAANOTETTAVAT JÄTTEET JA LOPPUTUOTTEET .....</b>	<b>16</b>
2.1 SEKA- JA RAKENNUSJÄTE .....	16
2.2 JÄTTEIDEN MEKAANINEN KÄSITTELY .....	20
2.2.1 Yleistä.....	20
2.2.2 Mekaaniset käsittelytekniikat.....	22
2.2.3 Jätteenkäsittelyn kustannuksista .....	27
2.3 JÄTTEENKÄSITTELYN LOPPUTUOTTEIDEN HYÖTYKÄYTTÖ.....	28
2.3.1 Jätejakeiden materiaalihyödyntäminen .....	28
2.3.2 Materiaalihyödyntämisen esteet.....	32
2.3.3 Jätteen energiahyödyntäminen .....	33
<b>3 MATERIAALIVIRTA-ANALYYSI.....</b>	<b>36</b>
3.1 ANALYYSIN TAVOITTEET JA HYÖDYNTÄMINEN .....	37
3.2 ANALYYSIN KÄSITTEET .....	37
3.3 ANALYYSIN KULKU STAN-OHJELMISTOLLA .....	39
<b>4 TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT .....</b>	<b>43</b>
4.1 OULUN JÄTEHUOLTO LIKELAITOKSEN TOIMINNAN KUVAUS .....	43
4.2 LAJITTELUAREENA .....	46
4.2.1 Jätteenkäsittelytoiminta.....	46
4.2.2 Jättemäärät ja lajitellut jätejakeet.....	49
4.3 LAJITTELUTUTKIMUKSET .....	52
4.3 LOPPUTUOTTEIDEN OMINAISUUKSIEN TUTKIMUSMENETELMÄT .....	53

4.3.1 Kierrätyspolttoaineanalyysi .....	53
4.3.2 Kaatopaikkakelpoisuustestaus.....	54
4.3.3 Orgaanisen aineksen kokonaispitoisuus.....	54
4.4.4 Näytteenotto .....	55
4.4 MATERIAALIVIRTA-ANALYYSI STAN-OHJELMISTOLLA .....	55
4.4.1 Lähtöolettamukset.....	56
4.4.2 Jätevirtaskenaariot .....	58
<b>5 TUTKIMUSTULOKSET .....</b>	<b>61</b>
5.1 LAJITTELUTUTKIMUKSET .....	62
5.1.1 Polttokelpoinen jäte .....	62
5.1.2 Loppusijoitettava rejekti.....	65
5.2 VASTAANOTETTAVAN JÄTTEEN KOOSTUMUS .....	68
5.3 TUTKITTUJEN LOPPUTUOTTEIDEN OMINAISUUDET .....	69
5.3.1 Polttokelpoinen jäte .....	69
5.3.2 Loppusijoitettava rejekti.....	71
5.3.3 Polttokelpoisen jätteen ja rejektin hienoaines.....	73
5.4 JÄTTEENKÄSITTELYTOIMINNAN TALOUDELLINEN TARKASTELU .....	75
<b>6 TULOSTEN ANALYSOINTI JA POHDINTA.....</b>	<b>80</b>
6.1 LAJITTELUTUTKIMUKSET JA KÄSITELLYN JÄTTEEN KOOSTUMUS .....	80
6.2 TUTKITTUJEN LOPPUTUOTTEIDEN OMINAISUUDET JA NÄYTTEENOTTO.....	83
6.2.1 Polttokelpoinen jäte .....	84
6.2.2 Loppusijoitettava rejekti.....	84
6.2.3 Polttokelpoisen jätteen ja loppusijoitettavan rejektin hienoaines .....	86
6.3 JÄTTEENKÄSITTELYTOIMINNAN TALOUDELLINEN TARKASTELU JA MATERIAALIVIRTA-ANALYYSI .....	86
<b>7 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>88</b>
<b>8 SUOSITUKSET .....</b>	<b>90</b>
LÄHTEET .....	93

## LIITTEET

LIITE 1. Näytteenottosuunnitelma

LIITE 2. Materiaalivirta-analyysin lähtötiedot (taulukot 11, 12 ja 13)



## KUVALUETTELO

Kuva 1. Yhdyskuntajätteet (tonnia) Suomessa vuonna 2011 (Tilastokeskus 2011) .....	17
Kuva 2. Rakennusjätteiden muodostumis- ja käsittelyarvio Suomessa (tuhatta tonnia) (Wahlström et al. 2012) .....	18
Kuva 3. Jätteiden käsittelyprosessien materiaalivirrat (Green Net Finland ry 2005).....	21
Kuva 4. Jätteen mekaanisessa käsittelyssä käytetty täryseula (Leverenz et al. 2002, s. 8.53) ...	23
Kuva 5. Hihnamagneettierotin (Bilitewski 2010, s. 339) .....	24
Kuva 6. ZenRobotics Recycler: jätteiden lajitteluun kehitetty korkean teknologian robottijärjestelmä (Zen Robotics Oy 2013) .....	25
Kuva 7. Tana Shark 440 DT -jättemurskain ja murskaimen terät ( <a href="http://www.koneporssi.com/uutiset/tana-shark-440dt-henkiloautotkin-kokonaisena-kitaan/">http://www.koneporssi.com/uutiset/tana-shark-440dt-henkiloautotkin-kokonaisena-kitaan/</a> )..	26
Kuva 8. SRF-kierrätyspolttoaineen valmistusprosessi (Mroueh et al. 2007) .....	35
Kuva 9. Esimerkki materiaalivirta-analyysissä tutkittavan systeemin mallista .....	38
Kuva 10. STAN-ohjelmiston graafinen käyttöliittymä (Wienin teknillinen yliopisto 2013) .....	40
Kuva 11. Oulun jätehuolto liikelaitoksen toimialue (Oulun Jätehuolto 2013) .....	43
Kuva 12. Ruskon jätekeskuksessa vastaanotettujen jätteiden määrät vuonna 2001 - 2011 (Oulun Jätehuolto 2012) .....	44
Kuva 13. Ruskon jätekeskuksen aluekartta ja jätteenkäsittelytoiminnot (Oulun Jätehuolto 2013).....	45
Kuva 14. Oulun Energian jätteenpolttolaitoksen toimintakaavio (Oulun Energia 2012).....	46
Kuva 15. Lajitteluareenan kuormien purkupaikat henkilö- ja kuorma-autoille .....	47
Kuva 16. Lajitteluareenalla käytettyjä jätteenkäsittelykoneita: materiaalikäsittelykouralla varustettu kaivinkone ja magneettierottimella varustettu jättemurskain .....	48
Kuva 17. Lajitteluareenan jätteenkäsittelyn jätevirtakaavio .....	49
Kuva 18. Polttokelpoisen jätteen lajitteluotos (vasemmalla) ja loppusijoitettava rejektikuorma (oikealla).....	53
Kuva 19. Lajitteluareenan jätevirrat tutkimusaikana toteutuneessa tilanteessa (jätevirrat t/6 kk).....	59
Kuva 20. Lajitteluareenan jätevirrat skenaariossa 1 (jätevirrat t/6 kk).....	60
Kuva 21. Lajitteluareenan jätevirrat skenaariossa 2 (jätevirrat t/6 kk).....	61
Kuva 22. Polttokelpoisen jätteen lajittelujäännös (hienoaaines) .....	64

Kuva 23. Loppusijoitettavan rejektin lajittelujäännös (hienoaines) .....	67
Kuva 24. Lajitteluareenalla vastaanotettavan jätteen laskennallisesti arvioitu koostumus talteenotettujen materiaali- ja lajittelututkimusten perusteella (muut: bitumilevyt, kumi, lasi ja isot kappaleet).....	68
Kuva 25. Lajitteluareenan tuotot ja kustannukset tutkimusaikana toteutuneessa tilanteessa (rahavirrat €/6 kk).....	76
Kuva 26. Lajitteluareenan kustannukset skenaariossa 1 (rahavirrat €/6 kk) .....	77
Kuva 27. Lajitteluareenan kustannukset skenaariossa 2 (rahavirrat €/6 kk) .....	78
Kuva 28. Lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan tuottojen ja kustannusten vertailu tutkituissa jätevirtaskenaarioissa .....	79
Kuva 29. Polttokelpoisen jätteen materiaali- ja lajittelututkimusten perusteella arvioitu koostumus eri otoksissa (muut: tekstiilit, lasi, bitumilevyt, SER-jäte, vaaralliset jätteet, biojäte ja kumi).....	81
Kuva 30. Rejektin materiaali- ja lajittelututkimusten perusteella arvioitu koostumus eri rejektikuormissa (muut: tekstiilit, lasi, bitumilevyt, SER-jäte, vaaralliset jätteet, biojäte ja kumi) .....	81

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Kiinteiden kierrätyspolttoaineiden luokitusjärjestelmä (SFS-EN 15359).....	36
Taulukko 2. Lajitteluareenalla lajitellut jätejakeet tutkimusajana 24.10.2012 – 30.4.2013 .....	51
Taulukko 3. Polttokelpoisen jätteen lajittelututkimuksen tulokset .....	63
Taulukko 4. Loppusijoitettavan rejektin lajittelututkimuksen tulokset .....	66
Taulukko 5. Polttokelpoisen jätteen kierrätyspolttoaineanalyysin tulokset.....	70
Taulukko 6. Loppusijoitettavan rejektin kaatopaikkakelpoisuustestin tulokset .....	72
Taulukko 7. Loppusijoitettavan rejektin orgaanisen aineksen kokonaispitoisuudet .....	73
Taulukko 8. Hienoainesten kaatopaikkakelpoisuustestin tulokset .....	74
Taulukko 9. Käsiteltävän jätteen koostumuksen vertailu Oulun ja Päijät-Hämeen Jätehuollon lajittelulaitosten välillä .....	83
Taulukko 10. Eri biohajoavuuden määritysmenetelmillä saatuja tuloksia erilaisille jätejakeille (muokattu Wahlström et al. 2012).....	85
Taulukko 11. Materiaalivirta-analyysin lähtötiedot nykytilanteessa.....	107
Taulukko 12. Materiaalivirta-analyysin lähtötiedot skenaariossa 1 .....	108
Taulukko 13. Materiaalivirta-analyysin lähtötiedot skenaariossa 2 .....	109

## LYHENTEET

ANC	Acid-neutralizing capacity, haponneutralointikapasiteetti kuvastaa liuoksen kykyä puskuroida pH:n muutosta
As	arseeni
ar	as received, saapumistilassa
B	barium
C	hiili
Cd	kadmium
CDW	Construction and Demolition Waste, rakennusjäte
Cl <sup>-</sup>	kloridi-ioni
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
Cr	kromi
Cu	kupari
DOC	Dissolved Organic Carbon, liennut orgaaninen hiili
EoW	End-of-Waste, jätteeksi luokittelun päättyminen
F <sup>-</sup>	fluoridi-ioni
GCV	Gross Calorific Value, kalorimetrinen lämpöarvo
HDPE	High Density Polyethylene, korkean tiheyden polyeteeni-muovi
Hg	elohopea
ka	kuiva-aine
LDPE	Low Density Polyethylene, matalan tiheyden polyeteeni-muovi
LOI	Loss On Ignition, hehkutushäviö kuvastaa näytteen sisältämää orgaanisen materiaalin määrää
L/S	nestekiinteä -suhde, tarkoittaa uuttoon käytetyn vesimäärän suhdetta kiinteän materiaalin määrään
MFA	Material Flow Analysis, materiaalivirta-analyysi
mg/kg	milligrammaa kiloa kohti
MJ/kg	megajoulea polttoainekiloa kohti



Mo	molybdeeni
MSW	Municipal Solid Waste, kiinteä yhdyskuntajäte
NCV	Net Calorific Value, tehollinen lämpöarvo
Ni	nikkeli
NeReMa	Advanced Solutions for Recycling of Complex and New Materials, Uusien materiaalien kestävä kierrätys-hanke
PCB	polyklooratut bifenyylit, mm. saumaussmassassa ennen käytettyjä kemiallisia haitta-aineita
Pb	lyijy
PET	polyeteenitereftalaatti, muovi
pH	pH-arvo kuvastaa aineen happamuutta
PVC muovi	polyvinyylikloridi, vinyylikloridia polymeroimalla valmistettu
RDF	Refuse Derived Fuel, kierrätyspolttoaine
Sb	antimoni
Se	seleeni
SER	sähkö- ja elektroniikkajäte
SO <sub>2</sub>	rikkidioksidi
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	sulfaatti-ioni
SRF	Solid Recovered Fuel, kiinteä kierrätyspolttoaine
STAN	subSTance flow Analysis, materiaalivirta-analyysiin käytettävä ohjelmisto
t/a	tonnia vuodessa
TDS	Total Dissolved Solids, liuenneiden aineiden kokonaispitoisuus
TOC	Total Organic Carbon, orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus
VTT	Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus
Zn	sinkki

## MÄÄRITELMÄT

Biohajoava jäte	biohajoava jäte voi hajota biologisen toiminnan seurauksena kaatopaikan hapellisissa tai hapettomissa olosuhteissa pienemmiksi orgaanisiksi ja epäorgaanisiksi yhdisteiksi
Energiahyödyntäminen	jätteen energiasisällön hyödyntäminen jätteenpolttolaitoksella tai rinnakkaispolttona voimalaitoksessa
EoW-kriteeri	jätteeksi luokittelun päättyminen, kriteerien perusteella jäte lakkaa olemasta jätettä, kun jäte on käynyt läpi hyödyntämistoimet ja tuote tuodaan markkinoille kriteerien mukaisesti
Hyötyjäte tai -jäte	jätejäte, jota voidaan käyttää uudelleen sellaisenaan tai joiden sisältämä materiaali tai energia voidaan hyödyntää
Jäte	aine tai esine, jonka sen haltija on poistanut, aikoo poistaa käytöstä tai on velvollinen poistamaan käytöstä
Jätteiden hyödyntäminen	toiminta, jossa jäte käytetään hyödyksi tuotantolaitoksessa korvaamaan kyseisessä tarkoituksessa muutoin käytettäviä aineita
Jätteiden kierrätys	jätteiden tai jättejakeiden käyttäminen raaka-aineena joko alkuperäisessä tai muussa tarkoituksessa
Jätteiden käsittely	jätteiden koostumuksen, rakenteen tai ominaisuuksien muuttaminen niin, että jäte voidaan hyödyntää tai loppusijoittaa turvallisesti
Jätteiden lajittelu	jätteiden erottelu ohjeiden mukaisesti eri jakeisiin ominaisuuksiensa perusteella
Kalorimetrinen lämpöarvo	täydellisessä palamisessa kehittyvän lämmön energiamäärä
Kierrätyspolttoaine	yhdyskuntien ja yritysten polttokelpoisista, kiinteistä ja syntypaikoilla lajitelluista jätteistä valmistettua polttoainetta
Kokoomanäyte	muodostetaan useista osanäytteistä
Kontaminaatio	materiaalin saastuminen tai likaantuminen

Kuitupohjaiset jätteet pahvi	kuitupohjaisia jätteitä ovat paperi, kartonki ja
Käsitelty puu	käsittelyaineilla käsitelty tai sideaineita sisältävä puutavara, kuten huonekalut, lastulevyt, vaneri, mdf- ja haltex-levyt
Käsitlemätön puu	maalaamaton, lakkaamaton ja vahaamaton raakapuutavara
Kyllästetty puu	kyllästysaineella, kuten kreosootilla tai arseeni- ja kromipitoisella kyllästysaineella, käsitelty puutavara, joka on ongelmajätettä
Lajittelulaitos	jätteiden käsittelylaitos, jossa jätteitä käsitellään mekaanisesti lajittelemalla ja erottelemalla ominaisuuksiensa mukaan
Materiaalihyödyntäminen	materiaalin uudelleenkäyttö tai kierrätys. Uudelleenkäytössä materiaali käytetään sellaisenaan uudelleen, esimerkiksi ehjä ikkuna tai tiskiallas voidaan käyttää uudelleen. Kierrätyksessä materiaali käsitellään ja palautetaan alkuperäiseen tehtävänsä, esimerkiksi metallien käsittely uuden metallin tuotantoon
Materiaalien talteenottolaitos	ks. lajittelulaitos
Orgaaninen jäte	orgaanisesta aineksesta eli hiiltä sisältävästä aineksesta koostuvaa jätettä. Määritelmällä viitataan yleensä kaikkeen palavaan jätteeseen, mikä sisältää biologisen jätteen ja muun palavan jätteen, kuten muovin
Palakoko	palamaiselle polttoaineelle ominaisen palan koko, joka voidaan määrittää esimerkiksi seulonnan avulla
Puujäte	puujätteellä tarkoitetaan rakennus-, purku- ja korjaustoiminnassa syntyvää jätepuuta. Poikkeuksena on painekyllästetty puu, joka on ongelmajätettä
Rakennusjäte	rakennustoiminnassa, kuten uudis- tai korjausrakentamisessa ja purkamisessa, syntyvää jätettä
RDF-kierrätyspolttoaine	lajittelemattomasta sekajätteestä mekaanisella käsittelyprosessilla valmistettu kiinteä polttoaine

Rejekti	jätteenkäsittelyssä syntyvä hyödyntämiskelvoton materiaali
Rinnakkaispoltto	jätteen poltto vakinaisena tai lisäpolttoaineena polttolaitoksessa pääpolttoaineen, kuten turve, rinnalla
SRF-kierrätyspolttoaine	polttokelpoisista, kuivista ja kiinteistä jätteistä, kuten kuitupakkauksista, puusta ja muovista, mekaanisella käsittelyprosessilla valmistettu hyvälaatuinen polttoaine
Syntypaikkalajittelu	jätteiden lajittelu ja erillään pitäminen niiden syntypaikoilla, kuten kotitalouksissa tai rakennustyömailla
Tehollinen lämpöarvo	palamisessa kehittyvän lämmön energiamäärä, jossa huomioidaan polttoaineen sisältämän ja palamisessa syntyvän veden haihduttaminen
Uudelleenkäyttö	ks. materiaalihyödyntäminen
Uusiomateriaali	uusioraaka-aineesta valmistettu materiaali
Yhdyskuntajäte	asumisessa tai siihen laadultaan rinnastettavassa toiminnassa syntyvä yhdyskuntajätettä
Yksittäisnäyte	pienin määrä jätettä, joka otetaan kerrallaan kokoomanäytteen muodostamiseksi



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Diplomityön taustalla ovat kansallisen jätestrategian ja lainsäädännön tavoitteet jätteiden kierrätyksen tehostamisesta ja orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoituksen rajoituksista. Valtakunnallisen jätesuunnitelman (VALTSU) mukaan vuoteen 2016 mennessä yhdyskuntajätteistä kierrätetään materiaalina 50 % ja energiana hyödynnetään 30 %. Loppusijoitettavaksi kaatopaikoille päätyisi enintään 20 % yhdyskuntajätteestä. Lisäksi valtakunnallisen jätesuunnitelman tavoitteena on rakennusjätteiden hyödyntämisen nostaminen 70 %:iin joko materiaalina tai energiana. (Anon 2008).

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (Vna 331/2013) ja asetus jätteistä annetusta valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta (Vna 332/2013) tulivat voimaan 1. kesäkuuta 2013. Nämä asetukset käytännössä lopettavat orgaanisen jätteen sijoittamisen kaatopaikoille ja myös rajoittavat jätteen hyödyntämistä maantäytössä. Rajoitusta sovelletaan 1. tammikuuta 2016 alkaen yhdyskuntajätteelle ja 1. tammikuuta 2020 alkaen rakennus- ja purkujätteelle. Rajoitukset koskevat yli 10 % orgaanista ainesta sisältävää jätettä, mikä edellyttää myös kaatopaikkakelpoisuusvaatimuksissa olevan liukoisen orgaanisen hiilen raja-arvon 800 mg/kg täyttymisen.

Orgaanisella jätteellä tarkoitetaan orgaanisesta aineksesta koostuvaa jätettä ja määritelmä sisältää kaiken palavan jätteen, kuten biohajoamattoman muovijätteen. Nykyisin kaatopaikalle sijoitettavia määrältään keskeisiä orgaanisia jätteitä ovat muun muassa käsittelemätön yhdyskuntajäte ja sekalainen rakennusjäte sekä näiden käsittelyn rejektit. Jätteen sisältämä orgaaninen aines hajoaa kaatopaikan jätetäytössä aiheuttaen ympäristöpäästöjä, kuten ilmakehään hiilidioksidiakin huomattavasti voimakkaampaa kasvihuonekaasua metaania ja puhdistusta vaativia suotovesiä. (Wahlström et al. 2012).

Orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoituskielto vaatii jatkossa useille jätevirroille kaatopaikkasijoituksen korvaavia käsittelymenetelmiä. Jätteen syntypaikkalajittelun lisäksi tarvitaan jätteen laitosmaista käsittelyä, jolloin jätevirrat ohjautuvat jätteiden käsittelylaitosten kautta pääosin materiaali- tai energiahyödyntämiseen. (Kokkonen 2004; Wahlström et al. 2012).

## 1.2 Tutkimusongelma ja tavoitteet

Oulun Jätehuolto liikelaitoksen Ruskon jätekeskukseen valmistui vuoden 2012 lokakuussa jätteiden lajitteluareena. Lajitteluareena on jätteiden lajittelulaitos, jossa lajittelematonta seka- ja rakennusjätettä käsitellään mekaanisilla käsittelymenetelmillä. Lajitteluareenan toiminnan tavoitteena on materiaalikierrätyksen edistäminen, polttoaineen valmistus jätteenpolttolaitokselle ja jätteen kaatopaikkasijoituksen vähentäminen.

Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää jätteenkäsittelytoiminnan taloudellisuuden tarkastelun kautta, onko jätteenkäsittelijälle taloudellisempaa kierrättää jätettä materiaalina vai prosessoida jäte energiahyödynnettäväksi. Tutkimuksessa hyödynnetään materiaalivirta-analyysin suorittamiseen kehitettyä STAN-ohjelmistoa (subSTance flow ANalysis). STAN-ohjelmiston käyttö tutkimuksessa helpottaa tutkittavan systeemin mallinnusta ja säilyttää systeemin jätevirtojen tasapainon laskentavaiheessa.

Työn tavoitteen saavuttamiseksi tulee selvittää lajitteluareenalla vastaanotettavien jätteiden määrä ja jätevirrat – materiaali- ja energiahyödyntämiseen ohjautuvien jätėjakeiden ja loppusijoitettavan rejektin määrä. Tutkimuksessa selvitetään myös jätteenkäsittelytoiminnan lopputuotteiden laatua ja ominaisuuksia lajittelututkimuksella ja laboratorioanalyysillä energiahyödynnettävästä polttokelpoisesta jätteestä ja loppusijoitettavasta rejektistä.

Diplomityön tutkimuskysymykset ovat:

- 1) ”Kuinka paljon jätteestä saadaan materiaali- ja energiahyödyntämisen piiriin?
- 2) ”Kuinka paljon jätteenkäsittelyssä muodostuu kaatopaikalle sijoitettavaa rejektiiä?”
- 3) ”Mitkä ovat jätteenkäsittelyn lopputuotteiden ominaisuudet energiahyödynnettävän polttokelpoisen jätteen ja käsittelyrejektin osalta?”
- 4) ”Kuinka paljon materiaalina hyödynnettäviä jakeita jätteestä voidaan taloudellisesti kierrättää?”

Diplomityön tuloksia voidaan hyödyntää jätteiden lajittelutason arvioinnissa ja tiedottamisessa sekä lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan kehittämisessä. Jätteenkäsittelytoiminnan kehittäminen on tärkeää, jotta saavutetaan lainsäädännön vaatimat tavoitteet jätteiden kierrätyksestä ja hyötykäytöstä sekä orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoituksen rajoituksista.

## 2 VASTAANOTETTAVAT JÄTTEET JA LOPPUTUOTTEET

Jätteiden synty liittyy yhdyskunnan taloudellisiin toimintoihin ja materiaalivirtoihin. Luonnonvaroja kulutetaan erilaisissa tuotantoprosesseissa ja tuotteiden käytössä kunnes ne päätyvät jätteeksi. (Christensen 2010, s. 5). Jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka haltija on poistanut käytöstä, aikoo poistaa käytöstä tai on velvollinen poistamaan käytöstä (Jätelaki 646/2011).

Jätteenkäsittelymenetelmien suunnittelemiseksi ja jätteiden hyötykäytön edistämiseksi tarvitaan tietoa jätteen syntypaikasta ja koostumuksesta. Jätteet voidaan luokitella syntypaikan mukaan esimerkiksi yhdyskuntajätteeksi, teollisuuden tai rakentamisen jätteeksi. Materiaalijakeet ovat puolestaan visuaalisesti tunnistettavia jakeita jätteessä. Materiaalijakeita ovat esimerkiksi metalli- ja puujätteet sekä muovit. Jäte sisältää myös erilaisia haitta-aineita ja kemiallisia yhdisteitä, joiden tunnistamiseen tarvitaan analyysitekniikoita. Esimerkiksi sulfaatti ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), kloridi ( $\text{Cl}^-$ ) ja raskasmetallit, kuten arseeni (As) ja kadmium (Cd), ovat jätteen sisältämiä kemiallisia haitta-aineita. (Christensen 2010, s. 17-20).

### 2.1 Seka- ja rakennusjäte

#### *Määritelmät*

Yhdyskuntajäte on asumisessa syntyvää jätettä ja siihen laadultaan rinnastettavaa kaupan, toimistojen ja pienyritysten jätettä (Jätelaki 646/2011). Sekalainen yhdyskuntajäte eli sekajäte jää jäljelle, kun jätteen syntypaikalla on kerätty erikseen hyödynnettävät jättejakeet, kuten biojäte, metallit, lasi, paperi ja kartonki. Sekajätteen koostumus vaihtelee riippuen jätteen tuottajasta ja lajittelumahdollisuudesta. (Jermakka 2011).



Rakennusjäte on puolestaan talonrakennuskohteessa, kuten uudis- ja korjausrakentamisessa tai rakennuksen purkamisessa, syntyvää jätettä. Rakennusjätteen haltijan on huolehdittava, että rakennusjäte hyödynnetään, jos se on teknisesti mahdollista eikä siitä aiheudu kohtuuttomia lisäkustannuksia verrattuna muulla tavoin järjestettyyn jätehuoltoon. (Valtioneuvoston päätös rakennusjätteistä 295/1997)

### *Jättemäärät*

Suomessa syntyi vuonna 2011 yhdyskuntajätettä noin 2,7 miljoonaa tonnia, josta sekajätettä oli noin 1,5 miljoonaa tonnia. Kaatopaikalle sijoitettiin Suomessa vuonna 2011 yhteensä 1,1 miljoonaa tonnia jätettä. Kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrä on kuitenkin tilastojen mukaan vähentynyt viiden vuoden takaisesta jopa 30 % ja edellisvuodestakin 4,2 %. Kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrää vähentää kierrätyksen eli jätteen materiaalihyödyntämisen lisääntyminen ja myös energiahyödyntämisen lisääntyminen. Erityisesti jätteenpolton osuus on yhdyskuntajätteen käsittelyssä viime vuosina huomattavasti kasvanut. (Tilastokeskus 2011). Kuvassa 1 on esitetty yhdyskuntajätteiden määrä ja käsittely Suomessa vuonna 2011.

	Jättemäärä	Käsittely		
		Kierrätys materiaalina	Energia- käyttö	Sijoitus kaatopaikalle
Sekajäte yhteensä	1 514 176	40 041	415 771	1 058 364
Erilliskerätyt yhteensä, josta	1 204 592	906 966	262 713	34 913
Paperi- ja kartonkijäte	363 643	356 440	7 178	25
Biojäte	362 764	333 102	24 721	4 941
Lasijäte	61 062	60 914	4	144
Metallijäte	14 417	14 396	20	1
Puujäte	83 951	6 822	76 210	919
Muovijäte	22 323	6 260	16 008	55
Sähkö- ja elektroniikkaromu	55 830	55 752	46	32
Muut ja erittelemättömät	240 602	73 280	138 526	28 796
Kaikki yhteensä	2 718 768	947 007	678 484	1 093 277

Kuva 1. Yhdyskuntajätteet (tonnia) Suomessa vuonna 2011 (Tilastokeskus 2011)



Uusien materiaalien kestävä kierrätys (NeReMa) -hankkeessa selvitetty rakennusjätteen määrä oli Suomessa vuonna 2007 noin 2 miljoonaa tonnia (Meinander & Mroueh et al. 2012). NeReMa-hankkeessa arvioitu jätemäärä perustuu tutkimushankkeen laskennallisiin tuloksiin. Tilastokeskuksen ja VTT:n (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus) tekemien laskelmien mukaan rakennusjätteen määrä oli vuonna 2007 puolestaan noin 1,6 miljoonaa tonnia (Kojo & Lilja 2011). Erot julkaistuissa jätemäärissä johtuvat siitä, että rakennusjätteiden määrää ei Suomessa tilastoida samalla tavoin kuin yhdyskuntajätteiden määrää. Rakennusjätteen määrät vaihtelevat myös vuosittain riippuen voimakkaasti talouden suhdanteista (Kojo & Lilja 2011).

Suomessa vuonna 2007 rakennusjätteestä hyödynnettiin 38 % materiaalina ja 35 % hyödynnettiin energiana. Rakennusjätteestä hyödynnetään eniten puuta, metalleja ja mineraalipohjaisia kiviaineksia. Kaatopaikalle sijoitettiin 27 % rakennusjätteestä eli noin 550 000 tonnia rakennusjätettä. (Meinander & Mroueh et al. 2012). Kuvassa 2 on esitetty rakennusjätteiden muodostumis- ja käsittelyarvio Suomessa.

Jätelaji	Jätemäärä 1000 t/a	Käsittely, 1000 t/a		
		Kierrätys materiaalina	Energiakäyttö	Sijoitus kaato- paikalle
Lajittelematon rakennusjäte	380			380
Käsitellyt jakeet yhteensä, joista	1 620	747	707	166
Puujäte	520	5	515	
Metallijäte	200	198		2
Mineraalijäte	500	498		2
Sekalainen jäte	400	46	192	162
Kaikki yhteensä	2000	747	707	546

Kuva 2. Rakennusjätteiden muodostumis- ja käsittelyarvio Suomessa (tuhatta tonnia) (Wahlström et al. 2012)

### *Koostumus*

Rakennusjätteelle on tyypillistä, että sen määrä, syntypaikka ja ominaisuudet vaihtelevat. Rakennusjäte on yleisesti hyvin heterogeenistä jätettä, joka koostuu useista eri materiaali-jakeista. Rakennusjätettä muodostuu kolmen tyyppisillä työmailla: korjausrakentamisessa (27 %), purkutoiminnassa (57 %) ja uudisrakentamisessa (16 %).

Rakennustyömailla muodostuvan jätteen laatu riippuu muun muassa rakennuskohteesta ja rakennuksen purkutavasta. Uudisrakentamisen jätevirrat ovat yleensä puhtaita materiaaleja, jotka eivät ole sekoittuneet muihin materiaaleihin. Uudisrakentamisessa syntyvän jätteen määrä on kuitenkin alhainen verrattuna purku- ja korjausrakentamisessa syntyviin jätemääriin. Purku- ja korjausrakentamisen jäte on puolestaan sekalaista kontaminoitunutta jätettä, minkä vuoksi sitä on vaikeampi hyödyntää kuin uudisrakentamisessa muodostuvaa jätettä. (Meinander & Mroueh et al. 2012).

Rakennusjäte sisältää muun muassa seuraavia materiaali- ja jätelajeja (Kokkonen 2004; Kojo & Lilja 2011):

- kiviainekset (muun muassa betoni ja tiilet)
- käsitelty ja käsittelemätön puu
- metallit
- kipsilevyt
- muovit
- kuitupohjaiset materiaalit: paperi, kartonki ja pahvi
- lasi
- eristemateriaalit (eristevillat ja muovipohjaiset eristeet).

Lisäksi rakennusjätteessä voi olla sekalaista jätettä, kuten kylpyhuonekalusteita, lattiamattoja ja ikkunoita sekä bitumilevyjä (kattohuopaa), viemäriputkia ja sähköjohtoja (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2012). Rakennusjätteiden joukossa on yleensä myös vaarallisia jätteitä, kuten kyllästettyä puuta, asbestijätettä ja PCB-yhdisteitä sisältäviä saumausaineita, jotka vaativat erityistä käsittelyä ja loppusijoitusta (Christensen & Andersen 2010, s.106-107). Asbestin ja PCB-yhdisteitä sisältävien saumausmassojen käyttö on kielletty, mutta vanhoista rakennuksista puretut jätteet voivat sisältää näitä haitallisia aineita. Vaarallisten jätteiden määrä rakennusjätteessä on yleensä noin 1 %, mutta ne voivat haitata materiaalien kierrätystä esimerkiksi kontaminoimalla muita materiaaleja. (Christensen & Andersen 2010, s.106-107; Meinander & Mroueh et al. 2012).



Jätehuoltoyhtiöissä on tehty useita lajittelututkimuksia seka- ja rakennusjätteen koostumuksesta jätekeskuksissa vastaanotettavista jätekuormista. Esimerkiksi Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy:n ja Pirkanmaan Jätehuolto Oy:n tekemien lajittelututkimusten perusteella rakennusjätteen suurimmat materiaali- ja jätteen osat ovat puujätteet, kipsilevyt, tiili- ja betonijätteet, metallit ja kuitupohjaiset materiaalit, kuten paperi, kartonki ja pahvi (Vanhala 2010; Jonsson 2012). Lisäksi rakennusjätekuorma voi sisältää huomattavan määrän eristevilloja, jopa 50 % kuorman kokonaispainosta (Jonsson 2012). Vanhalan (2010) ja Jonssonin (2012) tutkimusten mukaan jätekeskuksiin ohjautuvat sekajätteet sisältävät puolestaan muovi- ja puujätteitä, tekstiilejä, isoja kappaleita, kuten huonekaluja, sekä kuitupohjaisia jätteitä.

Eri jätehuoltoyhtiöissä tehtyjen yksittäisten lajittelututkimusten perusteella ei kuitenkaan voida esittää yksiselitteisesti seka- tai rakennusjätteen koostumusta, koska tutkittujen otosten tulokset pätevät vain kyseiselle kuormalle. Lajittelututkimusten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että jätekeskuksiin ohjautuvissa seka- ja rakennusjätekuormissa on paljon hyötykäyttöön kelpaavaa materiaalia ja myös energiahyödyntämiseen soveltuvaa materiaalia.

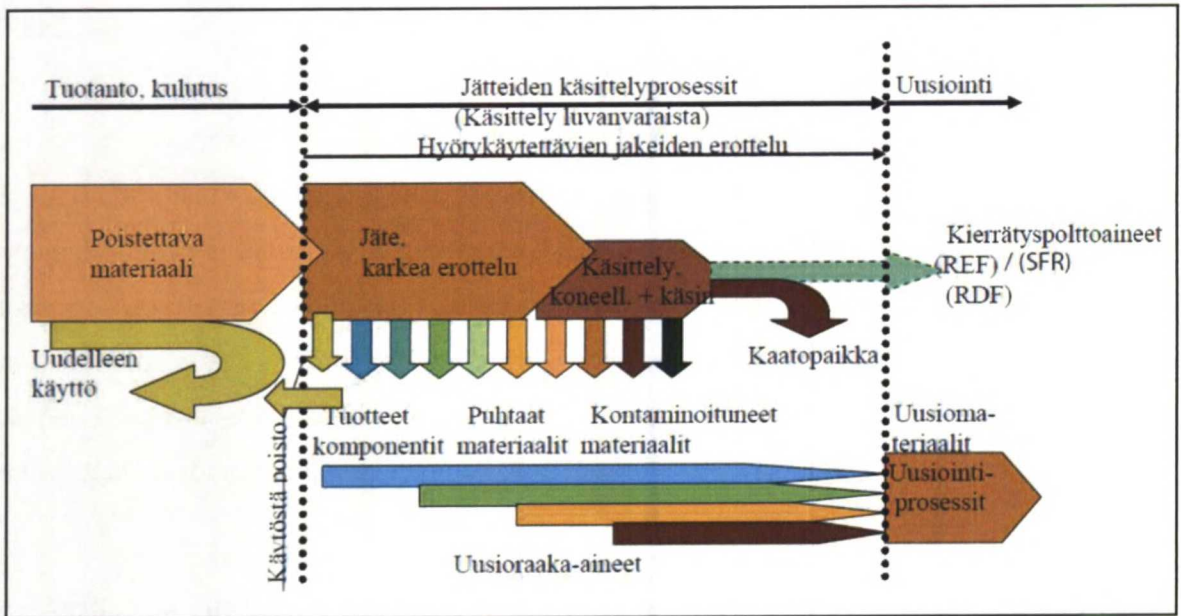
## **2.2 Jätteiden mekaaninen käsittely**

### **2.2.1 Yleistä**

Mekaanisten käsittelyprosessien avulla jätteestä erotellaan epäpuhtaudet käyttäen hyväksi esimerkiksi materiaalien magneettisuutta, tiheyttä, partikkelikokoa tai optisia ominaisuuksia. Samalla jätteen partikkelikokoa pienennetään murskaamalla, jolloin jäte on laadultaan mahdollisimman homogeenista. (Myllymaa et al. 2008).

Mekaanisen jätteenkäsittelyn tarkoituksena on kierrätettävien materiaalien talteenotto jätevirrasta uusiomateriaalien tuotantoon, jätteen energiasisällön hyödyntäminen polttolaitoksessa ja vaarallisten jätteiden poisto jätevirrasta, jolloin jätteen loppusijoittaminen on ympäristön kannalta turvallista (Christensen 2010, s.19-20). Kuvassa 3 on esitetty jätteiden käsittelyprosessien materiaalivirrat.





Kuva 3. Jätteiden käsittelyprosessien materiaalivirrat (Green Net Finland ry 2005)

Mekaanisen käsittelyn lisäksi jätettä voidaan käsitellä biologisesti tai termisesti. Biologisessa käsittelyssä orgaaninen jäte joko kompostoidaan tai mädätetään. Termisessä käsittelyssä jäte poltetaan tai kaasutetaan, mutta jäte vaatii usein mekaanisen esikäsittelyn ennen termistä käsittelyä. Jos mekaaninen jätteenkäsittely keskittyy lajitteluun tai kierrätettävien materiaalien talteenottoon, voidaan jätteenkäsittelylaitosta kutsua lajittelulaitokseksi tai materiaalien talteenottolaitokseksi. (Christensen 2010, s.19-20). Materiaalien kierrätyksen kannalta paras vaihtoehto olisi jätteiden lajittelu jo niiden syntypaikalla, kuten kotitalouksissa tai rakennustyömailla. Kaikkea jätettä ei kuitenkaan ole mahdollista lajitella syntypaikalla, joten syntypaikkalajittelun lisäksi tarvitaan jätteen laitosmaista prosessointia lajittelulaitoksessa. (Kokkonen 2004).

Lajittelulaitoksessa jäte prosessoidaan lajittelulla ja erottelulla useaksi eri jättejakeeksi. Jättejakeiden erottelun jälkeen jätettä täytyy usein vielä käsitellä hyötykäyttöön soveltuvaksi, esimerkiksi pienentämällä talteenotetun materiaalin partikkelikokoa. Käsittelyn jälkeen talteenotetut materiaalit toimitetaan hyötykäyttöön joko teollisuudelle tai esimerkiksi jätteenpolttolaitokselle. Lajittelulaitoksessa jätteenkäsittelyprosessi riippuu vastaanotettavasta jätteestä ja lopputuotteiden vaatimuksista. (Kokkonen 2004). Jätteenkäsittelylaitoksessa mekaaninen käsittely koostuu peräkkäisistä yksikkötoiminnoista,

jotka muuttavat jätteen fysikaalisia ominaisuuksia, mutta eivät muuta jätteen kemiallisia ominaisuuksia. (Christensen 2010, s. 20).

Jätteiden lajitteluun tarvittava mekaanisen käsittelyn taso ja käytettävä käsittelytekniikka riippuvat vastaanotettavan jätteen laadusta, mutta myös talteenotettaville materiaaleille asetetuista vaatimuksista. Sekalaisen jätteen käsittelyssä eroteltujen materiaalien laatu on yleensä huonompi kuin syntypaikalla lajitelluilla erilliskerätyillä materiaaleilla. Kaikessa jätteenkäsittelyssä muodostuu rejektiä, joka on kierrätykseen ja hyötykäyttöön kelpaamatonta ainesta. Rejekti loppusijoitetaan kaatopaikalle. (Christensen & Birgisdottir 2010, s. 244; Kokkonen 2004).

### **2.2.2 Mekaaniset käsittelytekniikat**

Mekaanisen jätteenkäsittelyn tekniikat voidaan jaotella seuraavasti (Bilitewski 2010, s. 321):

- jätteen lajittelu ja erottelu materiaalien ominaisuuksien mukaan
- jätteen partikkelikoon pienentäminen
- jätteen tiivistäminen.

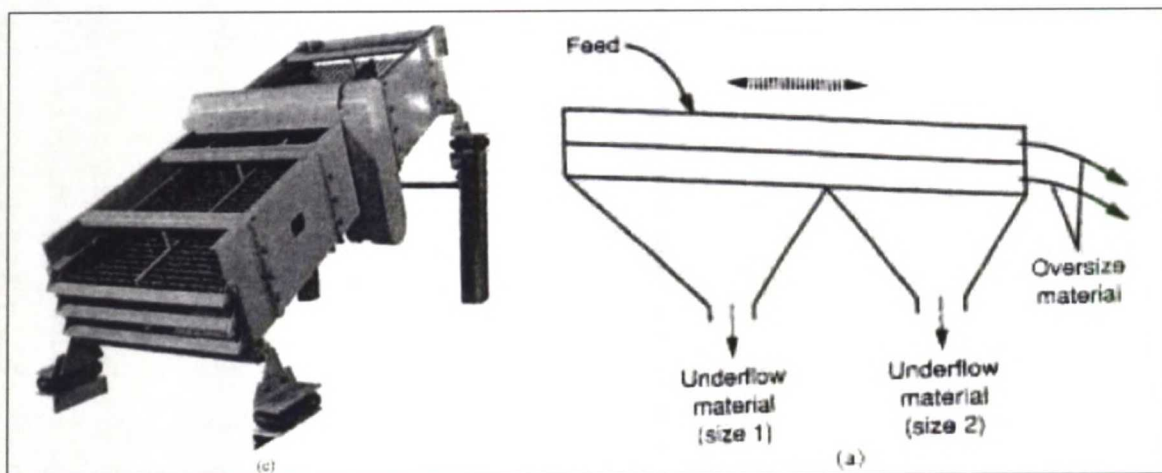
#### *Lajittelu ja erottelu*

Manuaalisessa lajittelussa lajitteluhenkilöstö poistaa käsin kierrätettäviä materiaaleja jätevirrasta, esimerkiksi hyötykäyttöön kelpaavaa puuta tai metalleja erillisille lavoille tai astioihin. Samalla voidaan poistaa jätevirrasta vaaralliset jätteet ja epäpuhtaudet. Jätteiden lajittelua voidaan nopeuttaa ja tehostaa koneellisesti käyttämällä materiaalikäsitteykouralla varustettua kaivinkonetta, mutta sekalaisesta jätevirrasta paras lajittelun lopputulos saadaan manuaalisella lajittelulla. (Kokkonen 2004; Leverenz et al. 2002, s. 8.17-8.28). Manuaalisessa erottelussa lajitteluhenkilöstö kuitenkin altistuu jätteen sisältämille epäpuhtauksille, kuten patogeeneille ja toksiineille, ja myös onnettomuuksille, kuten teräville esineille. Altistumisriskin vuoksi manuaalisessa lajittelussa työskentelevien henkilöiden työturvallisuus täytyy huomioida muun muassa henkilökohtaisilla suojaimilla ja riittävällä ohjeistuksella. (Bilitewski 2010, s. 342-343).



Manuaalisen lajittelun lisäksi jätteenkäsittelylaitoksissa tarvitaan koneellisia lajittelu- ja erottelutekniikoita. Jätejakeiden erotteluun jätevirrasta voidaan käyttää muun muassa materiaalin partikkelikokoon, tiheyteen, sähkönjohtavuuteen tai magneettisuuteen perustuvaa erottelua. Erottelutekniikat perustuvat materiaalien ominaisuuseroihin. Materiaalien erottelu ei kuitenkaan koskaan ole täydellistä, vaan tietyn materiaali-jakeen korkea talteenottoaste jätevirrasta tuottaa yleensä enemmän epäpuhtauksia sisältävän materiaali-jakeen. (Leverenz et al. 2002, s. 8.47-8.62).

Partikkelikoon perusteella tapahtuvaan erotteluun yleisin menetelmä on seulonta, jossa materiaalit erottuvat toisistaan käytetyn seulakoon mukaan. Jätteenkäsittelyssä käytettyjä seuloja ovat muun muassa täryseula ja tähtiseula. Täryseulassa (kuva 4) jäte syötetään liikkuvalla seulapinnalle, jolloin partikkelikooltaan pienet materiaalit kulkeutuvat seulan aukoista ja erottuvat näin suurikokoisemmista partikkeleista. (Leverenz et al. 2002, s. 8.47-8.50).



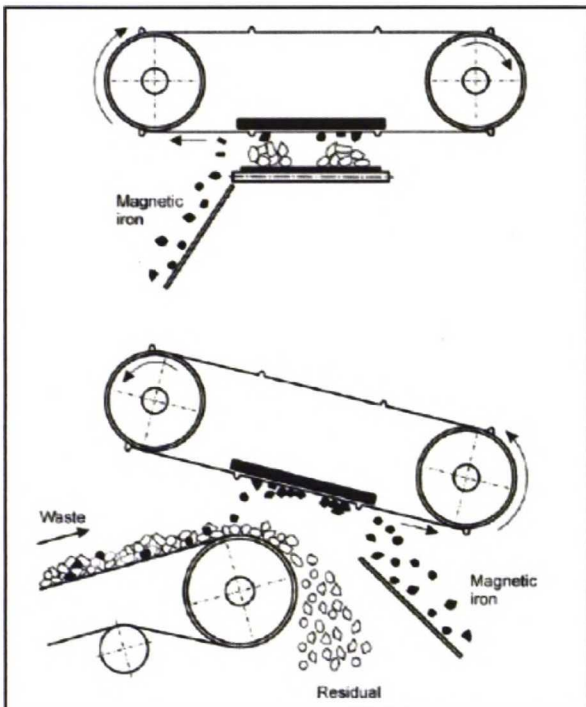
Kuva 4. Jätteen mekaanisessa käsittelyssä käytetty täryseula ja seulan poikkileikkaus (Leverenz et al. 2002, s. 8.53)

Tähtiseulan toimintaperiaate on samanlainen kuin täryseulan. Tähtiseulassa jäte syötetään tähtirattaista koostuvalle seulalle, jolloin jätepartikkelit puhdistavat itseään pomppimalla ja hankaamalla toisiaan vasten. Käsiteltävästä jätteestä erottuu hienoaines, joka kulkeutuu tähtiseulan aukoista erottuen suurikokoisemmista partikkeleista. (Neuenhauser Umwelttechnik 2013).



Tiheyteen perustuvista erottimista yleisimmin käytetty on ilmaerottelu, jota käytetään kevyempien materiaalien erotteluun raskaammista materiaaleista. Ilmaerottelua voidaan käyttää muun muassa muovin tai alumiinin erotteluun. Alumiinin ja muiden ei-magneettisten metallien erotteluun jätevirrasta voidaan käyttää myös pyörrevirtaerotinta (Eddy Current-erotin), jossa sähköä johtava metalli erotellaan muista materiaaleista sähkökentän avulla. (Leverenz et al. 2002, s. 8.56).

Magneettista erottelua käytetään yleensä rautametallien erotteluun jätevirrasta. Magneettierottimista on useita erilaisia sovelluksia, kuten hihnamagneetti ja magneettirumpu. Magneetti synnyttää ympärilleen magneettikentän, joka vetää magneettisia metalleja puoleensa. Kuvassa 5 on esitetty hihnamagneettierottimen toimintaperiaate. Magneettiset metallit tarttuvat hihnamagneettiin ja jatkavat matkaansa erottuen jätevirrasta. (Leverenz et al. 2002, s. 8.52-8.54).

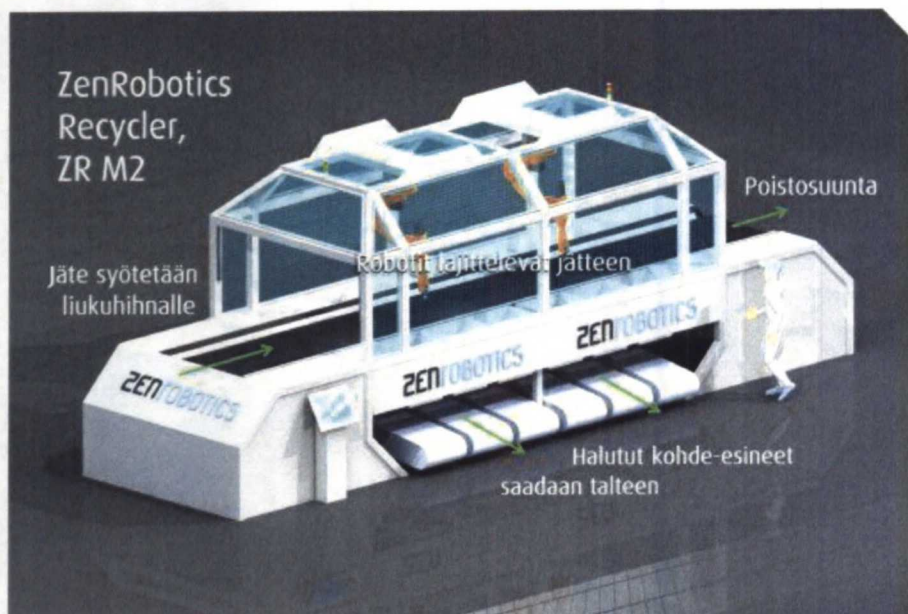


Kuva 5. Hihnamagneettierotin (Bilitewski 2010, s. 339)

Magneettisilla erottimilla saavutetaan yleensä hyvä talteenottoaste, jopa 95-99 % magneettisille materiaaleille. Talteenotetun magneettisen materiaalin puhtausaste voi

vaihdella riippuen syötetyn jätevirran partikkelikoosta ja ominaisuuksista. Sekajätettä käsittelevässä prosessissa magneettisen materiaalin talteenottoaste on tyypillisesti 80 %, mutta magneettisen tuotteen puhtausaste voi olla alhainen, noin 60-80 % magneettista materiaalia. Sekajätteestä talteenotetun magneettisen materiaalin sekaan päätyy siis muutakin jätettä, kuten muovia, joten erotettu magneettinen materiaali vaatii yleensä käsittelyä ennen kuin se voidaan myydä loppukäyttäjälle. (Leverenz et al. 2002, s. 8.52-8.54).

Uusinta tekniikkaa hyödyntävillä laitoksilla voidaan hyödyntää myös automaattisia lajittelulaitteistoja, kuten optista lajittelulaitteistoa esimerkiksi muoville ja lasille tai röntgensäteitä PVC-muovin erotteluun jätevirrasta. Automaattisen lajittelulaitteiston käyttö on kallista, mutta sen avulla voidaan ottaa talteen puhtaampia materiaali-jakeita. (Leverenz et al. 2002, s. 8.58-8.61). Esimerkiksi suomalainen ZenRobotics Oy on kehittänyt ZenRobotics Recycler-jätteenlajittelujärjestelmän, jossa robotit lajittelevat jätteen haluttuihin materiaali-jakeisiin, kuten metallit, puu ja kiviainekset (kuva 6). Kyseistä teknologiaa hyödynnetään Suomessa rakennus- ja purkujätteen käsittelyssä ja jätteen hyödyntämisaste voi nousta robotin avulla jopa 95 %:iin. (ZenRobotics Oy 2013).



Kuva 6. ZenRobotics Recycler: jätteiden lajitteluun kehitetty korkean teknologian robottijärjestelmä (Zen Robotics Oy 2013)



### *Partikkelikoon pienentäminen*

Jätteen koon pienentäminen viittaa jätteen muuttamiseen pienemmiksi partikkeleiksi. Jätteen partikkelikokoa pienennetään, koska sekalainen jäte on heterogeenistä materiaalia, jonka seassa voi olla suuriakin materiaalikappaleita. Jätteen koon pienentäminen homogenisoi jätteen partikkelikokojakaumaa, kasvattaa partikkelien pinta-alaa ja sekoittaa jätettä. Jätteen partikkelikoon pienentyessä vähentyvät myös jätteen varastoinnista ja kuljetuksista aiheutuvat kustannukset, koska partikkelikoon pienentyessä jäte tiivistyy ja vie näin vähemmän tilaa. Käytetyimpiä tekniikoita jätteen partikkelikoon pienentämiseen ovat erilaiset murskaimet, kuten vasaramylly, leukamurskain ja jyrsin sekä repijä. Murskauslaitteistot voivat olla kiinteitä tai kuorma-auton avulla siirrettäviä niin kutsuttuja mobiilimurskaimia. (Bilitewski 2010, s. 321-323; Leverenz et al. 2002, s. 8.44).

Kuvassa 7 on repivä Tana Shark -jätemurskain, jota voidaan käyttää useiden materiaalien murskaukseen, kuten rakennus- ja yhdyskuntajätteen murskaukseen tai puun haketukseen. Lopputuotteen partikkelikooksi murskauksen jälkeen saadaan 400-50 mm. Yleensä jätemurskaimet on varustettu hihnamagneettierottimella, jolloin samanaikaisesti partikkelikoon pienentämisen kanssa jätevirrasta saadaan erotettua magneettiset metallit. (HS-Tekniikka 2013).



Kuva 7. Tana Shark 440 DT -jätemurskain ja murskaimen terät (<http://www.koneporssi.com/uutiset/tana-shark-440dt-henkiloautotkin-kokonaisena-kitaan/>)



### *Tiivistäminen*

Jätteen tiivistämisen tarkoituksena on jätteen tai erotellun materiaalin tilavuuden pienentäminen. Jätettä tai esimerkiksi talteenotettua pahvia voidaan tiivistää paalaamalla. Tiivistäminen vähentää materiaalien kuljetus- ja varastointikustannuksia. (Leverenz et al. 2002, s. 8.17).

### *Materiaalien hallinta*

Jätteenkäsittelyn lisäksi lajittelulaitoksessa täytyy myös huomioida materiaalien hallinta ja kuljetukset. Hyödynnettävien materiaaleille täytyy varata astioita tai lavoja säilytystä varten, koneita jätteen ja materiaalien siirtoja varten sekä varastointialue. Materiaalien siirtoihin voidaan myös käyttää automaattisia kuljetinhihnoja. (Leverenz et al. 2002, s. 8.17, s. 8.68).

### **2.2.3 Jätteenkäsittelyn kustannuksista**

Lajittelulaitoksen jätteenkäsittelyn kustannukset riippuvat ensisijaisesti jätteenkäsittelyssä käytetystä teknologiasta ja lajittelun tasosta. Jätteenkäsittely on sitä kalliimpaa, mitä kehittyneempiä ja tehokkaampia laitteita jätteiden lajittelussa ja erottelussa käytetään. Talteenotettaessa laadultaan parempia ja puhtaampia materiaali-jakeita jätevirrasta nousevat jätteenkäsittelyn kustannukset, koska tällöin jätteenkäsittely vie enemmän aikaa ja tarvitaan kehittyneempiä laitteita materiaalien erotteluun. Lisäksi jätteenkäsittelyn kustannuksiin vaikuttavat manuaaliseen lajitteluun käytetyn henkilöstön määrä. Jätteen käsittelykustannukset vaihtelevat siis teknologioittain ja laitoksittain. Jätteenkäsittelyn kustannuksia arvioitaessa on myös huomioitava käsittelylaitoksen kapasiteetti. Laitoksilla, jossa käsitellyn jätteen määrä on vähäinen, nousevat jätteen käsittelykustannukset käsiteltyä jätetonnia kohti suuremmiksi kuin laitoksilla, jossa käsiteltävän jätteen määrä on vuositason suurempi. (Merrild & Christensen 2010, s. 29-36).

Lajittelulaitoksen jätteenkäsittelytoiminnan taloudellisuuteen vaikuttavat myös kierrätettävistä materiaaleista saatavat tuotot, mitkä puolestaan riippuvat talteenotettujen materiaalien laadusta ja talteenottoasteesta. Laadultaan paremmasta ja puhtaammasta materiaalista saadaan suuremmat tuotot kuin epäpuhtauksia sisältävästä materiaali-jakeesta. Kierrätysmateriaaleista saatavat tuotot riippuvat myös neitseellisten raaka-aineiden

hinnoista, koska kierrätysmateriaaleja käytetään korvaamaan neitseellisiä raaka-aineita. Kierrätysmateriaali ja neitseellinen raaka-aine kilpailevat siis markkinoilla. Kierrätysmateriaalien markkinahinnat vaihtelevat eri aikoina, joten kierrätettävien materiaalien tuotoista voi olla vaikeaa tehdä arvioita lajittelulaitosta suunniteltaessa. Jätteenkäsittelijän tulee tuntea kierrätysmateriaalien hyötykäyttömarkkinat, jotta lajittelulaitoksen taloudelliset realiteetit materiaalien hyötykäytön mahdollistamiseksi ovat olemassa. (Merrild & Christensen 2010, s. 29-36; Kokkonen 2004).

## **2.3 Jätteenkäsittelyn lopputuotteiden hyötykäyttö**

### **2.3.1 Jätejakeiden materiaalihyödyntäminen**

Jätteen materiaalihyödyntämistä ovat materiaalin uudelleenkäyttö ja kierrätys. Uudelleenkäytössä jäte tai sen osa käytetään sellaisenaan uudelleen. Esimerkiksi rakennusjätteestä voidaan käyttää uudelleen ehjät rakennusosat, kuten ikkunat tai tiskialtaat. Kierrätys puolestaan on jätteiden käsittelyä tietyssä prosessissa, jolloin jäte palautetaan alkuperäiseen tehtävänsä tai johonkin muuhun tarkoitukseen. Kierrätystä on esimerkiksi muovien murskaaminen ja granulointi uusioraaka-aineeksi muovin tuotantoon tai metallien talteenotto jätevirrasta ja sulatus metallien tuotantoon. Jätteen energiasisällön hyödyntäminen ei ole kierrätystä. (Kojo & Lilja 2011). Materiaalien kierrätyksellä voidaan vähentää neitseellisten raaka-aineiden tarvetta ja vähentää loppusijoitusalueen tilantarvetta. (Tam & Tam 2006).

Talteenotettavan ja kierrätettävän materiaalin laatu ja puhtausaste vaikuttavat materiaalin hyötykäyttöön, minkä vuoksi muun muassa rakennusjätteiden kierrätys on rajoittunut vain muutamiin jätejakeisiin. Rakennusjätteistä eniten kierrätettyjä jakeita ovat puu, metallit ja kiviainekset, joiden kertymät jätevirrassa ovat riittävän suuret. Taloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna rakennusjätteen kierrätys on kannattavaa vain, jos kierrätysmateriaali on kilpailukykyinen hinnaltaan ja laadultaan neitseellisen raaka-aineen kanssa. Kierrätysmateriaalit ovat yleensä kilpailukykyisempiä alueilla, joilla on pulaa raaka-aineista ja kaatopaikkasijoitusala. (Tam & Tam 2006; Leverenz & Kreith 2010, s. 9.1-9.17).



### *Puujätteet*

Puujäte voi sisältää muun muassa lautoja, vaneria, puurakenteita ja puuesineitä (kaapistot, puuovet) sekä puupurua ja lastuja. Käsittelemätön puu voidaan hakettaa ja kompostoida, jolloin se käytetään esimerkiksi kompostin seosaineeksi ja lopputuotteena siitä saadaan multaa. Käsittelemätöntä puuta voidaan hyödyntää materiaalina myös lastulevyn valmistuksessa tai maaperän lehtikatteenä. Käsittelemättömällä puulla tarkoitetaan maalaamatonta, lakkaamatonta, vahaamatonta raakapuutavaraa, jossa voi kuitenkin olla nauvoja. Puujätteen materiaalikierrätyksen kannalta on erittäin tärkeää, että käsittelemättömän puun seasta erotellaan kyllästetty tai muutoin käsitelty puujäte. (Ympäristöyritysten liitto 2012; Kuosa 2012).

Materiaalikierrätyksen lisäksi puujätettä voidaan haketuksen jälkeen käyttää polttolaitosten energianlähteenä, mikä on yleisin puujätteen hyötykäyttötapa. Polttolaitokset polttavat myös käsiteltyä puutavaraa. Huonekalut ja levytavara, kuten lastulevyt, vaneri sekä mdf- ja haltex-levyt, ovat käsiteltyä puuta, joiden kierrätys materiaalina ei ole mahdollista käsitellyn puun sisältämän sideaineiden vuoksi. (Ympäristöyritysten liitto 2012; Kuosa 2012).

### *Metallit*

Jätteen seasta metallijakeeseen voidaan lajitella metalliputket, tölkit, kaapelit, tyhjät maalipurkit ja muut metalliset tuotteet, kuten ammeet. Metallien lajittelun jälkeen metallit käsitellään esimerkiksi murskaamalla ja leikkaamalla sekä sulattamalla. Sulatuksen jälkeen kierrätysmetalli hyödynnetään teollisuuden raaka-aineena uusien metallien tuotannossa. Metalleja voidaan käytännössä kierrättää ikuisesti ja niille on kehittynyt markkinoita ympäri maailmaa. Arvokkaita metalleja jätteen seassa ovat muun muassa rauta, alumiini ja kupari sekä metalliseokset. (Ympäristöyritysten liitto 2012; Tam & Tam 2006).

### *Kiviainekset*

Jätteen seassa olevia kiviaineksia ovat betoni ja tiilet sekä posliinijäte. Posliini- ja keramiikkajätettä voidaan hyödyntää maanparannusaineena murskauksen jälkeen. (Meinander & Mroueh et al. 2012; Ympäristöyritysten liitto 2012). Myös betoni murskataan ja seulotaan ennen hyötykäyttöä, jotta saadaan partikkelikooltaan



oikeankokoista betonimursketta eri käyttötarkoituksiin. Betonimurskeesta voidaan valmistaa uusiobetonia, mutta betonimurskeen käyttö uuden betonin runkoaineena on kuitenkin vähäistä. Usein kierrätysbetonia ja tiilimursketta käytetäänkin esimerkiksi teiden ja katujen rakennusmateriaalina korvaamaan hiekkaa ja soraa. Kestävyytensä ansiosta tiiliä voidaan käyttää uudelleen myös tiilinä, jos tiilet saadaan purettua ehjinä työmaalla. Tiilien uudelleenkäyttö on kuitenkin huomattavasti kalliimpaa kuin primäärysten tiilien käyttö rakennustyömailla. Tiilien uudelleenkäyttö voi olla varteenotettava vaihtoehto vanhoissa kaupungeissa restaurointitarkoituksessa tai vihreän imagon luomisessa. Suomessa tiilien uudelleenkäyttö ei ole kovin yleistä. (Christensen & Birgisdottir 2010, s. 246; Meinander & Mroueh et al. 2012).

### *Kipsilevyt*

Kipsilevytehtaat voivat tuotannossaan hyödyntää raaka-aineena kuivaa ja puhdasta kipsilevyjätettä, jos kipsilevyn mukana ei ole muita rakennusmateriaaleja tai epäpuhtauksia. Uuden kipsilevyn tuotannossa voidaan käyttää 22 % kierrätyskipsiä varsinaisen raaka-aineen seassa. Kipsilevyjen pinnalla oleva paperi ei haittaa hyödyntämistä, jos paperipinnoitetta ei ole käsitelty esimerkiksi maalaamalla tai tapetoimalla. Paperiepäpuhtaudet kipsissä tuottavat huonolaatuista kipsilevyä, minkä vuoksi paperia voi olla 1 % jauhetun raaka-aineen seassa. Uudisrakentamisen kipsilevyjäte on puhdasta materiaali-kierrätykseen soveltuvaa materiaalia. Purku- ja korjausrakennuskohteiden kipsilevyjäte on vaikeampi kierrättää, koska kipsilevyssä on epäpuhtauksia, kuten maalia, tapettia, nauvoja ja ruuveja sekä eristeitä. (Kuosa 2012; Meinander & Mroueh et al. 2012).

Kipsilevyistä voidaan myös valmistaa hienontamisen jälkeen maarakentamiseen sopivaa materiaalia, maanparannusainetta tai lannoitetta ja hyödyntää sementin tuotannossa. (Ympäristöyritysten liitto 2012; Kuosa 2012).

### *Eristemateriaalit*

Rakentamisessa käytettyjä lämmöneristeitä ovat muun muassa mineraalivillat ja muovipohjaiset polyuretaanieristeet ja polystyreeni (styrox). Mineraalivillat ovat materiaaliltaan lähes pelkkää kiviainesta, joten ne eivät kompostoidu. Mineraalivilloista voidaan valmistaa hienontamisen jälkeen puhallusvillaa, jos kierrätettävässä

villamateriaalissa ei ole homevaurioita. Purkukohteiden eristevillaa ei siis ole mahdollista kierrättää mahdollisen laatuongelman takia. (Kojo & Lilja 2011; Ympäristöyritysten liitto 2012). Purkukohteista saatu kivivilla voidaan murskata ja käyttää kevyesti kuormitettujen maarakenteiden routaeristeenä (Paroc Oy 2012). Kivivillan käyttö maarakenteissa on luvanvaraista.

### *Muovit*

Muovien kierrätys materiaalina on yleensä teknisesti vaikeaa ja kallista toteuttaa, koska eri muovilaadut täytyy lajitella ennen muovien hyödyntämistä materiaalina. Muovilaatujen tunnistaminen voi olla hankalaa puutteellisten merkintöjen vuoksi, mikä voi estää muovien kierrätystä. Kierrätysmuovia voidaan käyttää muun muassa komposiittituotteisiin, viemäriputkiin, jätesarjoihin, muovilaatikoihin, melusteisiin ja pihahuonekaluihin sekä erilaisiin ruiskuvalutuotteisiin. (Kuosa 2012; Kojo & Lilja 2011). Muovia kierrätetään pääsääntöisesti pakkausjätteestä ja tuotannon ylijäämästä, mutta muovien kierrätys materiaalina on Suomessa hyvin vähäistä. Muovijätettä käsitteleviä ja kierrättäviä laitoksia on Suomessa kuitenkin useita, esimerkiksi Muovix Oy Riihimäellä. Sekalaiselle ja likaiselle muovijätteelle hyvä vaihtoehto on jätteenpolto, jolloin muovin sisältämä energia voidaan ottaa talteen. (Kuosa 2012; Ympäristöyritysten liitto 2012).

### *Muut materiaalit*

Kuitupohjaisia jätteitä, kuten paperia, kartonkia ja pahvia, voidaan kierrättää raaka-aineeksi uusiopaperin tai hylsy- ja pakkauskartongin valmistukseen. Kuitupohjaisia jätteitä voidaan hyödyntää myös polttoaineena energiantuotannossa ja muovin tukiaineena. (Meinander & Mroueh et al. 2012; Myllymaa et al. 2006).

Autonrenkaita voidaan kierrättää kumimateriaaliksi ja kumirouhetta voidaankin hyödyntää maanrakennuksessa täyteaineena erityisesti kaatopaikkarakenteissa ja tienpohjissa sekä meluvalleissa. (Ympäristöyritysten liitto 2012).

Taso- eli ikkunalasias voidaan murskauksen jälkeen käyttää esimerkiksi kaatopaikan rakenteissa tai täytemateriaalina joissakin tuotteissa, kuten sementissä, asfaltissa tai lasivillan tuotannossa. Teoriassa lasia voidaan kierrättää ikuisesti, mutta epäpuhtaudet lasin seassa voivat kuitenkin estää lasin kierrätyksen. (Kuosa 2012; Meinander & Mroueh et al.



2012). Kierrätyslasista voidaan myös valmistaa vaahtolasia, jota voidaan käyttää teiden rakentamisessa routaeristeenä, kevyenä täyteaineena ja eristemateriaalina (Uusioaines Oy 2012).

### **2.3.2 Materiaalihyödyntämisen esteet**

Onnistuakseen materiaalikierrätyksellä on oltava taloudelliset ja tekniset edellytykset sekä kierrätetyille materiaaleille tulee olla käyttökohteet ja markkinat. Materiaalien kierrätyksen taloudellisena esteenä voivat olla kierrätysmateriaalien hinnan heikko kilpailukyky neitseellisten raaka-aineiden hinnan kanssa ja markkinoiden puute kierrätysmateriaaleille. (Meinander & Mroueh et al. 2012; Damgaard & Christensen 2010, s. 239-240). Metalli- ja puujätteillä sekä kuitupohjaisilla materiaaleilla paperilla, kartongilla ja pahvilla on taloudellista arvoa kierrätysmateriaalina (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010).

Kierrätysmateriaalien kysyntä ja hinta vaihtelevat eri kierrätysmateriaalien välillä ja kierrätysmateriaalien hinta määräytyykin neitseellisten raaka-aineiden hinnan mukaan. Neitseellisten raaka-aineiden saatavuus on yleensä korkea, mikä ylläpitää neitseellisten raaka-aineiden alhaisia hintoja. (Meinander & Mroueh et al. 2012; Damgaard & Christensen 2010, s. 239-240). Taloudellisten esteiden poistamiseksi jätteiden kaatopaikkasijoitus tulisi tehdä taloudellisesti epäedulliseksi. Vaihtoehtoisesti neitseellisten raaka-aineiden hintoja voitaisiin ohjata verotuksella korkeammiksi ja tätä kautta edistää kierrätysmateriaalien kilpailukykyä. (Meinander & Mroueh et al. 2012; Kojo & Lilja 2011).

Kierrätysmateriaalien markkinoiden kehitystä hidastavat myös tekniset esteet. Kierrätysmateriaalien laatuun voi liittyä ongelmia tai ennakkoluuloja, koska kuluttajilla voi olla heikko tietämys kierrätysmateriaaleista ja niiden laadusta. Useita materiaaleja voidaan käyttää sellaisenaan tai käsiteltynä uudelleen, mutta puutteellinen lajittelu tai materiaalien kontaminaatio epäpuhtauksista voivat estää materiaalien kierrätyksen. Jätejakeiden taloudellisesti kannattava materiaalikierrätys edellyttää, että puhdasta ja tasalaatuista kierrätysmateriaalia on saatavilla riittävästi. (Meinander & Mroueh et al. 2012; Kojo & Lilja 2011).

Tiettyjen kierrätysmateriaalien, kuten muovien ja rakennustuotteiden, talteenotto ja lajittelu on yleensä vaikeaa ja teknologian kehitys on edellytys materiaalien talteenottoasteen



kasvattamiseksi ja materiaalikierrätyksen tehostamiseksi. Materiaalien kierrätyksen edistämiseksi olisi kehitettävä lajittelu- ja erottelutekniikoita, jotka mahdollistavat riittävän puhtaiden materiaali-jakeiden erottamisen jätevirrasta. (Meinander & Mroueh et al. 2012; Kojo & Lilja 2011). Kierrätyksen edistämiseksi joillekin rakennusjätteen sisältämille jakeille voitaisiin asettaa End-of-waste-kriteerit (EoW), mikä voisi kasvattaa kierrätysmateriaalien markkinoita. End-of-waste kriteerien eli jätteeksi luokittelun päättymisen perusteella jäte lakkaa olemasta jätettä, kun jäte on käynyt läpi hyödyntämistoimet ja tuote tuodaan markkinoille EU:n jätedirektiivin arviointiperusteiden mukaisesti. EoW-kriteerit on määritelty muun muassa rauta-, teräs- ja alumiiniromulle ja Euroopan komissio valmistelee parhaillaan kriteerejä myös kuparille, paperille ja muoville. (Ympäristöministeriö 2013).

### **2.3.3 Jätteen energiahyödyntäminen**

Energiahyödyntämisessä jätteen energiasisältö hyödynnetään polttoaineena lämmön- ja sähköntuotannossa. Jätteen energiahyödyntäminen on Suomessa lisääntymässä kiristyvien hyötykäyttötavoitteiden johdosta, koska materiaalina hyödyntäminen ei onnistu kaikkien jätejakeiden osalta. (Kojo & Lilja 2011; Kokkonen 2004).

Polttokelpoisia jätevirtoja ovat (Jätelaitosyhdistys 2013):

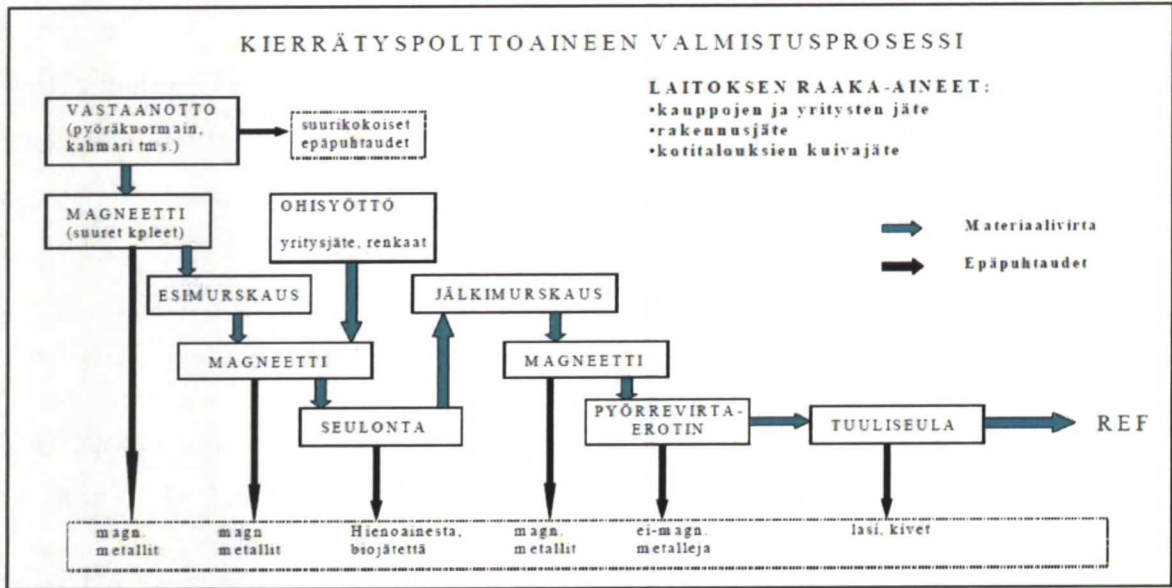
- polttokelpoinen yhdyskuntajäte
- kierrätyspolttoaineet (SRF, Solid Recovered Fuel ja RDF, Refuse Derived Fuel)
- puujätteet.

Yhdyskuntajätteen poltto tapahtuu jätteenpoltoon varsinaisesti suunnitelluissa jätevoimalaitoksissa. Yhdyskuntajätteen polttoon varmimmaksi osoittautunut tekniikka on arinapolttotekniikka. Arinatekniikkaa käyttävässä polttolaitoksessa voidaan hyödyntää syntypaikkalajiteltua jätettä, jolloin jätteelle ei tarvita erillistä prosessointia polttoaineeksi. Varsinaisia yhdyskuntajätteenpoltoon suunniteltuja jätevoimalaitoksia on tällä hetkellä Suomessa kuusi: Riihimäellä (2), Turussa, Kotkassa, Mustasaarella ja Oulussa. (Jätelaitosyhdistys 2013).

Kierrätyspolttoaineella (SRF ja RDF) tarkoitetaan jätteistä mekaanisesti prosessoimalla tuotettua jätepolttoainetta, jota voidaan polttaa joko rinnakkaispolttona tavanomaisissa voimalaitoksissa esimerkiksi puun ja turpeen seassa tai kierrätyspolttoaineille suunnitellussa jätevoimalaitoksessa. Kierrätyspolttoaineille polttotekniikkana on yleensä leijupetipoltto tai kaasutus. Rinnakkaispolttolaitoksia, joissa voidaan polttaa hyvälaatuisia kierrätyspolttoaineita, on Suomessa useita. Myös puujätteitä voidaan hyödyntää energiana voimalaitoksissa tai kaukolämpökattiloissa. (Jätelaitosyhdistys 2013).

RDF-kierrätyspolttoaine valmistetaan yhdyskuntien sekajätteestä mekaanisesti prosessoimalla ja sen laatu on heikompaa kuin SRF-kierrätyspolttoaineen. SRF-termistä on Suomessa ennen käytetty lyhennettä REF (REcovered Fuel). Parempilaatuinen SRF-kierrätyspolttoaine valmistetaan yleensä yhdyskuntien, kaupan tai teollisuuden syntypaikkalajitellusta energiajätteestä, jossa pääkomponentit ovat pakkausjätteet, kuten muovit ja pahvit. Näistä parhaista jätteistä kilpailee tietysti myös materiaali-kierrätys. (Myllymaa et al. 2006; Jätelaitosyhdistys 2013).

Kierrätyspolttoaineen valmistus vaatii jätteen esikäsittelyn ja prosessoinnin. SRF-kierrätyspolttoaineen valmistuksen yksikköprosessit ovat yleensä seulonta, magneettinen erottelu, murskaus, pyörrevirtaerottelu ja ilmaerottelu (kuva 8). Magneettisen ja pyörrevirtaerottelun tarkoituksena on poistaa magneettiset- ja ei-magneettiset metallit, kuten rauta ja alumiini jätevirrasta. Seulonta ja ilmaerottelu prosessit poistavat inertin materiaalin, kuten kiviaineksia ja lasia, jätevirrasta. (Bachér 2012; Jätelaitosyhdistys 2013).



Kuva 8. SRF-kierrätyspolttoaineen valmistusprosessi (Mroueh et al. 2007)

Polttoaineen laatu riippuu palamisominaisuuksista, kuten kosteudesta ja lämpöarvosta, sekä polttoaineen sisältämistä epäpuhtauksista. Kalorimetrinen lämpöarvo ilmaisee täydellisessä palamisessa kehittyvän lämmön energiamäärän polttoaineen massayksikköä kohden. Tehollisessa lämpöarvossa huomioidaan polttoaineen sisältämä vesi. Poltettavassa jätteessä haitallisia aineita tai materiaaleja ovat muun muassa rikki, alumiinia sisältävät pakkaukset ja PVC-muovit. Epäpuhtaudet polttokelpoisen jätteen joukossa aiheuttavat ongelmia polttoprosessissa ja myös vähentävät muodostuvan tuhkan hyötykäyttömahdollisuuksia. (Meinander & Mroueh et al. 2012; Ympäristöyritysten liitto 2012).

Kierrätyspolttoaineille on asetettu laatuvaatimukset ja -luokitukset eurooppalaisessa standardissa SFS-EN ISO 15359. Standardi määrittelee menettelytavat ja vaatimukset, joilla voidaan hallita syntypaikkalajitellun jätteen valmistus kiinteäksi, energiantuotantoon soveltuvaksi kierrätyspolttoaineeksi. Kiinteiden kierrätyspolttoaineiden luokitusjärjestelmä perustuu polttoaineen kolmen tärkeän ominaisuuden raja-arvoihin: tehollinen lämpöarvo, klooripitoisuus ja elohopeapitoisuus (SFS-EN 15359). Kierrätyspolttoaineet on luokiteltu viiteen laatuluokkaan ja raja-arvot on esitetty taulukossa 1.



Taulukko 1. Kiinteiden kierrätyspolttoaineiden luokitusjärjestelmä (SFS-EN 15359)

Luokitus- ominaisuus	Tehollinen lämpöarvo (NCV) MJ/kg (ar)	Klooripitoisuus (Cl) % (d)	Elohopeapitoisuus (Hg) mg/MJ (ar)	
	keskiarvo	keskiarvo	keskiarvo	mediaani 80. prosenttipiste
1	$\geq 25$	$\leq 0,2$	$\leq 0,02$	$\leq 0,04$
2	$\geq 20$	$\leq 0,6$	$\leq 0,03$	$\leq 0,06$
3	$\geq 15$	$\leq 1,0$	$\leq 0,08$	$\leq 0,16$
4	$\geq 10$	$\leq 1,5$	$\leq 0,15$	$\leq 0,30$
5	$\geq 3$	$\leq 3$	$\leq 0,50$	$\leq 1,00$

ar = saapumistilassa (as received) ja d = kuiva-ainetta kohti (dry matter)

Kierrätyspolttoaineiden vaatimukset ja luokat määrittävässä standardissa (SFS-EN 15359) vaaditaan myös raskasmetallien, kuten arseenin ja kadmiumin, pitoisuuksien määrittämistä kierrätyspolttoaineesta, mutta raskasmetalleille ei kuitenkaan ole määritelty luokittelu- tai raja-arvoja. (Myllymaa et al. 2006).

### 3 MATERIAALIVIRTA-ANALYYSI

Materiaalivirta-analyysi (MFA, Material Flow Analysis) on systemaattinen materiaalivirtojen ja -varastojen arviointiin käytetty menetelmä. Materiaalivirta-analyysin tutkimuksen kohde on systeemi, joka on määritelty ajan ja tilan suhteen. Tutkittava systeemi voi olla esimerkiksi jätteenkäsittelylaitos tai tehdas. Materiaalivirta-analyysissä tasapainotetaan systeemin syötteet ja tuotokset sekä määritellään systeemin materiaalivirtojen reitit ja varastot. Materiaalivirta-analyysi perustuu aineen häviämättömyyteen eli systeemin syötteiden ja tuotosten on oltava yhtä suuria. Materiaalivirtojen tutkimuksen lisäksi analyysiä voidaan soveltaa saman systeemin energiavirtojen tai taloudellisuuden tutkimiseen. (Brunner & Rechberger 2004, s. 3-4).

Materiaalivirta-analyysin suorittamiseen on kehitetty tietokoneohjelmistoja, kuten STAN-ohjelmisto, Simbox<sup>®</sup> ja Umberto<sup>®</sup> -ohjelmistot. Tässä diplomityössä jätteenkäsittelylaitoksen jätevirtojen ja jätteenkäsittelyn taloudellisuuden arviointiin käytetään STAN-ohjelmistoa. Analyysissä käytetylle ohjelmistolle tärkeää on, että käsitteet

ovat yhdenmukaisia materiaalivirta-analyysin kanssa ja tietoa voidaan siirtää eri ohjelmistojen välillä (Cencic 2004, s. 83).

### **3.1 Analyysin tavoitteet ja hyödyntäminen**

Materiaalivirta-analyysin tarkoituksena on kehittää yksinkertaisia ja luotettavia malleja, jotka kuvaavat mahdollisimman hyvin todellisuutta. Materiaalivirta-analyysin tavoitteita ovat muun muassa (Brunner & Rechberger 2004, s. 28):

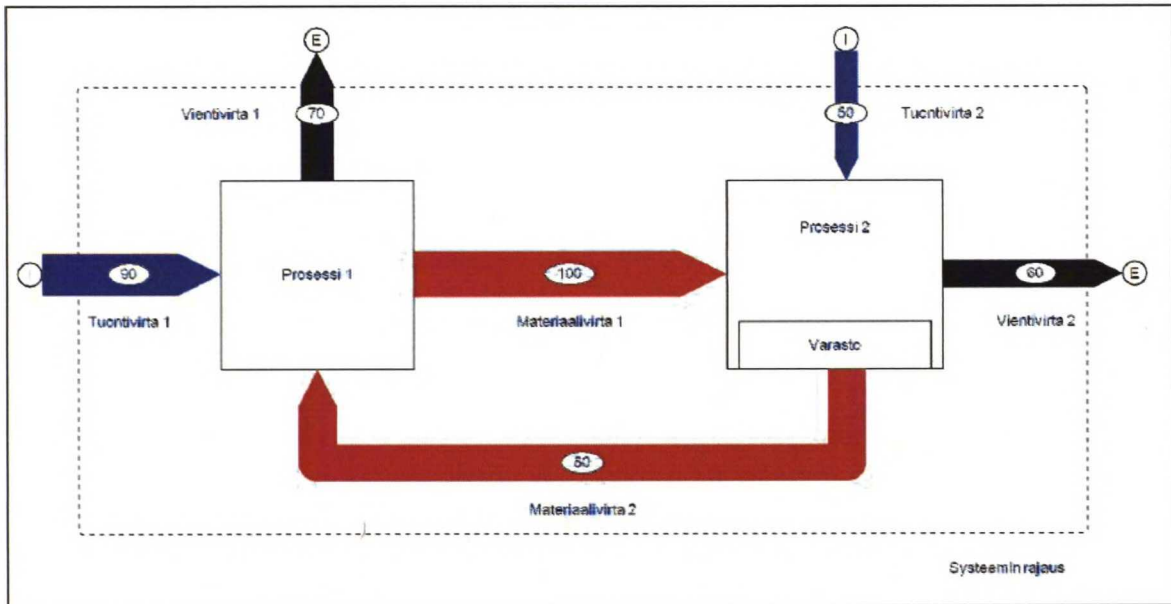
- systeemin materiaalivirtojen ja -varastojen määrittely
- systeemin monimutkaisuuden vähentäminen
- tulosten esittäminen systeemin materiaalivirroista ja varastoista ymmärrettävällä ja läpinäkyvällä tavalla
- tulosten hyödyntäminen esimerkiksi luonnonvarojen ja jätteiden hallintaan tai jätteenkäsittelytoiminnan optimointiin.

Jätteen koostumuksesta ja muodostumisesta tarvittava tieto on tärkeää muun muassa kierrätettävien materiaalien määrittelyssä, jätteenkäsittelytoimintojen suunnittelussa ja jätehuollon päästöjen arvioinnissa. Jätteiden määrästä ja koostumuksesta ei yleensä ole riittävästi tietoa, joten materiaalivirta-analyysiä voidaan hyödyntää tietyn systeemin jätevirtojen selvittämiseen. Jätehuollossa materiaalivirta-analyysia voidaan soveltaa esimerkiksi haitta-aineiden kulkeutumisen tutkimiseen kaatopaikan jätetäytössä tai jätteenkäsittelytoiminnan jätevirtojen tutkimiseen. Jätehuollon toimintojen lisäksi materiaalivirta-analyysiä voidaan käyttää päätöksenteon apuna tai virallisissa raporteissa tiedottamaan esimerkiksi luonnonvarojen käytöstä tai tietyn systeemin päästöistä ilmaan, veteen tai maaperään. (Brunner & Rechberger 2004, s. 17-19; Bringezu & Moriguchi 2002, s. 84).

### **3.2 Analyysin käsitteet**

Materiaalivirta-analyysin tulosten luotettavuuden ja uusittavuuden kannalta on tärkeää määrittää analyysissä käytetyt käsitteet. Materiaalivirta-analyysissä käytettyjä termejä ovat materiaali, prosessi, varasto, virrat, syötteet ja tuotokset sekä systeemi. Materiaalivirta-

analyysissä luodaan tutkittavasta systeemistä graafinen malli, johon määritellään systeemin materiaalivirrat, prosessit ja varastot sekä systeimirajaus. (Brunner & Rechberger 2004, s. 3-4, 35). Kuvassa 9 on esitetty tyypillinen esimerkki materiaalivirta-analyysin mallista.



Kuva 9. Esimerkki materiaalivirta-analyysissä tutkittavan systeemin mallista

Materiaalivirta-analyysissä termillä **materiaali** viitataan sekä aineisiin että tavaroihin. **Aine** voi olla alkuaine tai kemiallinen yhdiste, joka koostuu identtisistä yksiköistä. Aineita ovat siten alkuaine hiili (C) tai yhdiste hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ). **Tavarat** ovat aineita tai aineiden seoksia, joilla on markkinoiden määrittämä taloudellinen arvo. Tavarat ovat siis hyödykkeitä, joita käytämme yhteiskunnassa. Tavarat voivat olla joko positiivinen (polttoaine, puu) tai negatiivinen (yhdyskuntajäte, liete). Myös ilma ja sade ovat materiaalivirta-analyysin käsitteistössä tavaroita, mutta niillä ei ole taloudellista arvoa. (Brunner & Rechberger 2004, s. 35-37).

**Prosessi** määritellään materiaalien kulkeutumisiksi, muuntumisiksi tai varastoitumisiksi, joka voi olla luonnon prosessi, yhdyskunnan toiminto tai palvelu. Prosesseja ovat esimerkiksi liuenneen fosforin virta joessa, jätteen keräys tai jätteen sijoittaminen kaatopaikalle. Materiaalivirta-analyysissä prosessissa tapahtuvat sisäiset prosessit



huomioidaan vain, jos ne ovat analyysin kannalta olennaisia. Yleensä vain syötteet ja tuotokset ovat analyysin kannalta tärkeitä. (Brunner & Rechberger 2004, s. 37-38).

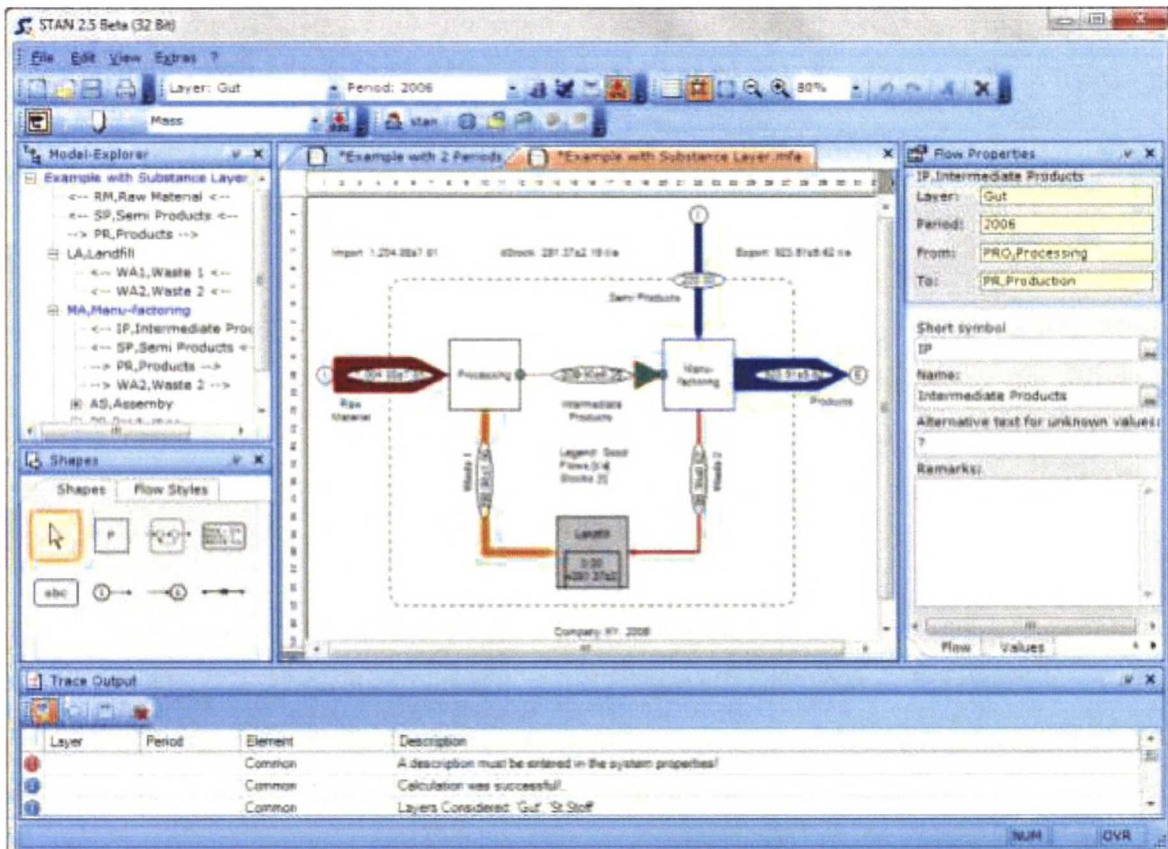
**Varasto** on systeemin materiaalivarasto, jolla tarkoitetaan prosessiin varastoituneen materiaalin kokonaismäärää. Varastot voivat olla vakioita tai ne voivat kasvaa (materiaalin varastoituminen) tai vähentyä (materiaalin ehtyminen). Esimerkiksi jätteenpolttolaitokselle saapuva uusi jäte-erä lisää materiaalivaraston määrää, mutta jätteenpoltto pienentää varaston materiaalimäärää. (Brunner & Rechberger 2004, s. 38).

Materiaalivirta-analyysissä prosessit yhdistetään **virroilla**. Virtaa voidaan ilmaista fysikaalisessa yksikössä, kuten tonnia vuodessa (t/a) tai kilogrammaa sekunnissa (kg/s). Systeeminrajauksen ylittävää virtaa kutsutaan tuontivirraksi (materiaali virtaa systeemiin) tai vientivirraksi (materiaali virtaa ulos systeemistä). (Brunner & Rechberger 2004, s. 39-40).

**Systeemi** koostuu materiaalivirroista, varastoista ja prosesseista ja se on rajattu ajan ja paikan suhteen. Materiaalivirta-analyysissä systeemin tarkastelujakso on yleensä yksi vuosi (a), mutta tarkastelujakso voi olla myös lyhyempi, kuten sekunti (s) tai päivä (vrk). Systeemin paikkarajaus on yleensä maantieteellisesti rajattu alue, kuten jätteenpolttolaitos, yritys tai jokisysteemi. Systeemi voi muodostua yhdestä tai useasta prosessista. Systeemi voi myös olla avoin tai suljettu, jolloin sillä joko on vuorovaikutusta ympäristön kanssa tai systeemi on eristetty ympäristöstä. (Brunner & Rechberger 2004, s. 43).

### 3.3 Analyysin kulku STAN-ohjelmistolla

STAN-ohjelmisto on Wienin yliopiston kehittämä ilmainen tietokoneohjelmisto materiaalivirta-analyysin suorittamiseen. STAN (subSTance flow ANalysis) on kehitetty Itävaltalaisen standardin ÖNORM S 2096 (Material Flow Analysis – Application in waste management) mukaan. STAN-ohjelmistossa yhdistyvät materiaalivirta-analyysille tarpeelliset ominaisuudet, kuten graafinen mallinnus, tiedon hallinta, laskenta ja graafinen esitys tuloksista. (Cencic & Rechberger 2008). Kuvassa 10 on esitetty STAN-ohjelmiston graafinen käyttöliittymä.



Kuva 10. STAN-ohjelmiston graafinen käyttöliittymä (Wienin teknillinen yliopisto 2012)

Materiaalivirta-analyysissä on neljä päävaihetta (Bringezu & Moriguchi 2002, s. 85):

- ongelman ja tavoitteiden määrittely
- systeemin määrittely
- laskenta ja tasapainotus
- tulosten arviointi.

Materiaalivirta-analyysi aloitetaan ongelman ja tavoitteiden määrittelyllä. Toisessa vaiheessa määritellään ja piirretään tutkittavasta systeemistä graafinen malli, jossa on kuvattu systeemin prosessit, virrat ja systeemirajaus eli tutkittavien materiaalivirtojen alku- ja loppupisteet (ks. kuva 10). Taloudellista tarkastelua varten systeemiin täytyy lisäksi



määrittää ylimääräinen prosessi eli pankkitili, johon ohjataan systeemin rahavirrat. (Bringezu & Moriguchi 2002, s. 85; Wienin teknillinen yliopisto 2012).

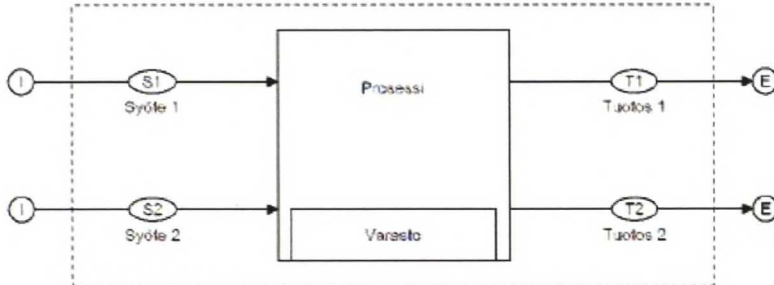
Kun systeemin malli on valmis, voidaan tunnettu tieto materiaalien määrästä ja niiden varastoista syöttää ohjelmistoon tietyllä ajanjaksolla. Systeemin materiaalivirrat ja energia- tai rahavirrat syötetään ohjelmistossa eri kerroksiin, jolloin myös analyysin tulokset jätevirtojen ja rahavirtojen osalta voidaan erottaa toisistaan. Tietoa voidaan syöttää STAN-ohjelmistoon myös esimerkiksi Microsoft Excel-asiakirjoista. Tutkittavan systeemin materiaalivirroille voidaan lisäksi määrittää epävarmuus, joka huomioidaan tulosten laskennassa. Systeemin graafinen malli voidaan tulostaa tai viedä esimerkiksi Microsoft Excel-asiakirjaan. (Bringezu & Moriguchi 2002, s. 85; Wienin teknillinen yliopisto 2012).

Materiaalivirta-analyysissä laskennan kohteena olevien aineiden tai materiaalien valinta voi perustua esimerkiksi lainsäädännöllä rajoitettujen aineiden päästöjen laskentaan. Tietoa tutkittavan systeemin materiaalivirroista saadaan kirjallisuudesta, yrityksen raporteista tai materiaalivirrat voidaan mitata tutkittavasta systeemistä. Tiedon keräys ja arviointi on materiaalivirta-analyysin ydintoiminto, joka täytyy tehdä riittävän tarkasti. Jotkin materiaalivirrat voivat myös olla arvioita tai perustua samantyyppisestä systeemistä saatuihin tietoihin. Materiaalivirrat, joiden osuus kokonaisvirrasta on alle 1 %, jätetään materiaalivirta-analyysissä yleensä huomioimatta. (Brunner & Rechberger 2004, s. 54, 58).

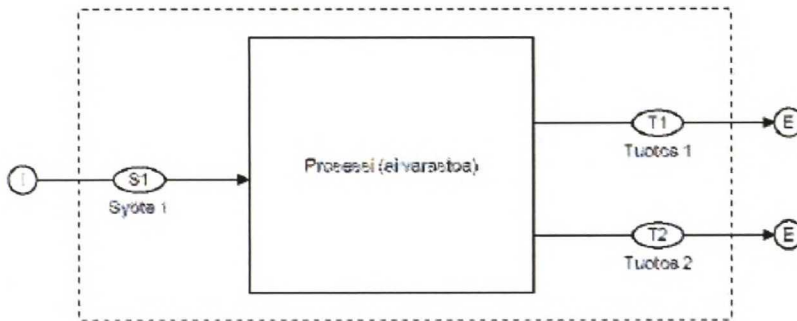
Laskentavaiheessa tasapainotetaan ja lasketaan ei-tunnettujen materiaali- tai rahavirtojen määrät. Ohjelmistoon syötettyjen tietojen ja määritettyjen prosessien ja massavirtojen avulla ohjelmisto laskee puuttuvat tiedot. STAN-ohjelmisto käyttää laskentaan neljää laskentakaavaa, jolloin systeemin mallia voidaan kuvata matemaattisella tavalla. Ohjelmistossa käytetyt kaavat ovat (Cencic & Rechberger 2008):



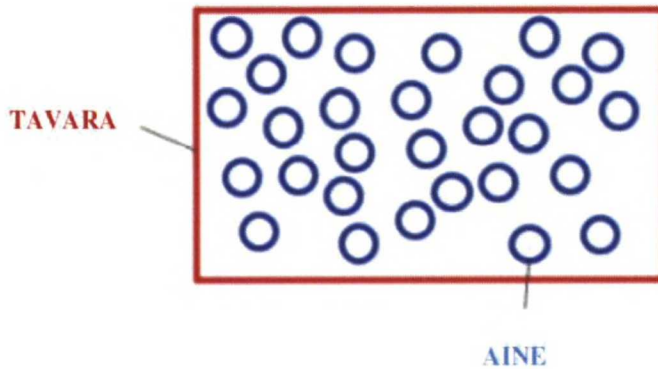
- 1) tasapainoyhtälö:  $\sum \text{syötet} = \sum \text{tuotokset} + \text{varaston muutos}$



- 2) muutoskerroinyhtälö:  $\text{tuotos}_x = \text{muutoskerroin}_x * \sum \text{syötet}$



- 3) varastoyhtälö:  $\text{varasto}_{\text{ajanjakso } i+1} = \text{varasto}_{\text{ajanjakso } i} + \text{muutos varastossa}_{\text{ajanjakso } i}$
- 4) konsentraatioyhtälö:  $\text{massa}_{\text{aine}} = \text{massa}_{\text{tavara}} * \text{konsentraatio}_{\text{aine}}$



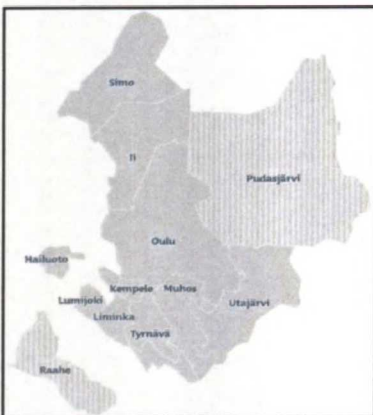
Materiaalivirta-analyysille on tyypillistä, että materiaalivirroissa on 10 %:n tasapainoero, mikä ei kuitenkaan ole tulosten kannalta merkittävä. Laskentavaiheessa tulee ottaa huomioon aineen häviämättömyyden periaate, jotta prosessien syötteet ja tuotokset pysyvät tasapainossa. Tällä voidaan arvioida myös alkuperäisen tiedon oikeellisuutta ja havaita mahdollisesti analyysistä puuttuvat tiedot. (Brunner & Rechberger 2004, s. 61).

Materiaalivirta-analyysin tulokset ovat materiaalien virtoja ja varastojen arvoja tutkittavassa systeemissä. Jos materiaalivirta-analyysiä käytetään systeemin taloudellisuuden tutkimiseen, tulokset ovat systeemin rahavirtoja. Analyysin viimeisessä vaiheessa arvioidaan saadut tulokset alkuperäisten tavoitteiden mukaan. (Brunner & Rechberger 2004, s. 133; Bringezu & Moriguchi 2002, s. 85).

## 4 TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT

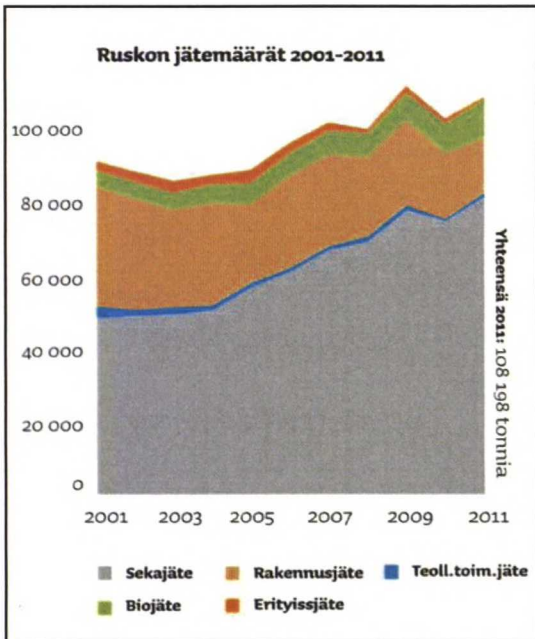
### 4.1 Oulun Jätehuolto liikelaitoksen toiminnan kuvaus

Oulun Jätehuolto liikelaitoksen tehtävänä on huolehtia toimialueensa jätteenkäsittelystä ja jäteneuvonnasta sekä edistää jätteen synnyn ehkäisyä, kierrätystä ja hyötykäyttöä. Oulun Jätehuollon toimialueeseen kuuluu 12 kuntaa, joiden alueella on noin 280 000 asukasta ja 110 000 kotitaloutta (kuva 11). Toimialueen ainoa toiminnassa oleva kaatopaikka on Oulussa Ruskon jätekeskuksessa. (Oulun Jätehuolto 2013).



Kuva 11. Oulun jätehuolto liikelaitoksen toimialue (Oulun Jätehuolto 2013)

Vuonna 2011 Ruskon jätekeskuksessa vastaanotettiin jätettä noin 108 000 tonnia. Sekajätteen määrä oli noin 78 000 tonnia ja rakennusjätteen määrä noin 19 000 tonnia. Kuvassa 12 on Ruskon jätekeskukseen toimitettujen jätteiden määrät vuosina 2001-2011. (Oulun Jätehuolto 2012).



Kuva 12. Ruskon jätekeskuksessa vastaanotettujen jätteiden määrät vuonna 2001 - 2011 (Oulun Jätehuolto 2012)

Ruskon jätekeskuksessa on seka- ja rakennusjätteen lisäksi vastaanottoaikoja myös muun muassa vaarallisille jätteille ja kotitalouksien hyötyjätteille Oiva-kierrätyspisteellä. Ruskon jätekeskuksessa jätteenkäsittelytoiminta kattaa muun muassa biojätteen kompostoinnin, nestemäisten ja vaarallisten jätteiden käsittelyn sekä jätteen loppusijoituksen kaatopaikalle. (Oulun Jätehuolto 2013). Kuvassa 13 on esitetty Ruskon jätekeskuksen aluekartta ja jätteenkäsittelytoiminnot.

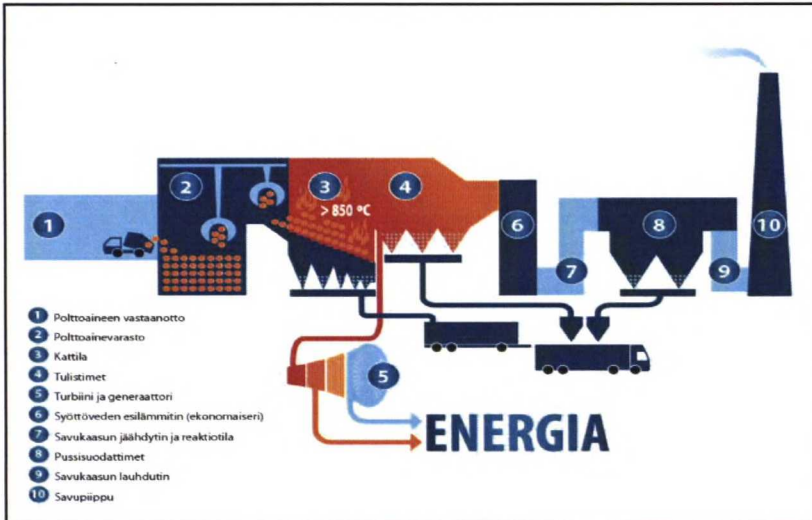




Kuva 13. Ruskon jätekeskuksen aluekartta ja jätteenkäsittelytoiminnot (Oulun Jätehuolto 2013)

Oulun Energian jätteenpolttolaitoksen käyttöönotto on tuonut muutoksia jätteenkäsittelyyn Oulun Jätehuollon toiminta-alueella. Polttokelpoinen yhdyskuntajäte toimitetaan kiinteistöiltä suoraan pakkaavilla jäteautoilla jätteenpolttolaitokselle. Ruskon jätekeskukseen ohjautuu kuitenkin lajittelematonta ja esikäsittelyä vaativaa seka- ja rakennusjätettä, joka tullaan jatkossa käsittelemään lajitteluareenalla.

Oulun Energian jätteenpolttolaitoksen polttoprosessi perustuu arinatekniikkaan, jolloin syntypaikkalajiteltu polttokelpoinen jäte ei vaadi esikäsittelyä. Jätteenpolttolaitos on ollut käytössä elokuusta 2012 alkaen ja sen kapasiteetti on 120 000 tonnia jätettä vuodessa. Puolet jätteenpolttolaitoksen jätemäärästä tulee Oulun Jätehuollon toimialueelta ja loput muualta Pohjois-Suomesta. Jätteenpolttolaitos tuottaa höyryä, joka hyödynnetään Kemiran teollisessa prosessissa sekä sähkön ja kaukolämmön tuotannossa. (Oulun Energia 2012). Kuvassa 14 on esitetty jätteenpolttolaitoksen toimintakaavio.



Kuva 14. Oulun Energian jätteenpolttolaitoksen toimintakaavio (Oulun Energia 2012)

## 4.2 Lajitteluareena

### 4.2.1 Jätteenkäsittelytoiminta

Ruskon jätekeskukseen rakennettu jätteiden lajitteluareena on 3145 m<sup>2</sup> suuruinen lämmittämätön, katettu betonihallirakennus. Lajitteluareenalla vastaanotetaan seka- ja rakennusjätekuormia, joita ei voida toimittaa jätteenpolttolaitokselle tai Oiva-kierrätyspisteelle. Lajitteluareenan valmistumisen jälkeen lähes kaikki jätekeskukseen saapuvat jätekuormat ohjataan lajitteluareenalle esikäsittelyyn. Vain selkeästi hyödyntämiskelvottomat kuormat – esimerkiksi eristevilloja sisältävät rakennusjätekuormat – ajetaan suoraan loppusijoitusalueelle. Lajitteluareena on suunniteltu vastaanottamaan noin 50 000 tonnia jätettä vuosittain. Lajitteluareenan toiminnan tavoitteena on edistää jätteen materiaalihyötykäyttöä, valmistaa polttoainetta jätteenpolttolaitokselle ja myös vähentää kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrää. (Illikainen 2011).

Lajitteluareenalle saapuu jätettä kuorma-autoilla ja pientuojien peräkärrykuormina, jotka punnitaan jätekeskuksen vaaka-asemalla. Kuorma- ja henkilöautoille on varattu omat purkupaikat lajitteluareenalla, kuten myös seka- ja rakennusjätteelle (kuva 15). Oulun Jätehuollon henkilökunta tarkastaa henkilöautojen kuormat ennen kuin jäte ohjataan lajitteluareenan jätteen vastaanottoalueelle. Myös kuorma-autoille tehdään

kuormantarkastuksia säännöllisesti ja niistä täytetään tarkastuspöytäkirja. Kuormantarkastusten tavoitteena on estää sähkö- ja elektroniikkajätteen ja vaarallisten jätteiden, kuten asbestijätteen, päätyminen lajitteluareenan jätteenkäsittelyalueelle.



Kuva 15. Lajitteluareenan kuormien purkupaikat henkilö- ja kuorma-autoille

Lajitteluareenalla asiakkaat purkavat kuormat jätteen vastaanottoalueelle, josta jäte siirretään pyöräkuormaajan avulla käsittelyalueelle. Lajitteluareenalla jätteenkäsittely koostuu jätteen mekaanisista käsittelyprosesseista – lajittelusta ja erottelusta sekä partikkelikoon pienentämisestä murskaamalla. Käsittelyn jälkeen osa jätteestä toimitetaan polttolaitokselle energiahyödynnettäväksi, talteenotetut materiaalit, kuten metallit ja puujätteet, myydään hyödyntäjille ja käsittelyrejeki sijoitetaan kaatopaikalle.

Lajitteluareenalla jätteiden lajittelu tapahtuu sekä manuaalisesti että koneellisesti materiaalinkäsittelykouralla varustettujen kaivinkoneiden ja pyöräkuormaajien avulla. Lajitteluareenalle on tällä hetkellä sijoitettu 2-3 kaivinkonetta ja pyöräkuormaajia. Materiaalien ja rejektin kuljetuksia varten on kuorma-auto. Jätteenkäsittelyn tehostamiseksi voidaan lajitteluareenalle tulevaisuudessa sijoittaa myös lajittelurobotteja, seuloja ja puristavia kontteja sekä jätteenkäsittelylinjoja. Kuvassa 16 on esitetty lajitteluareenalla lajitteluun käytettyjä koneita.

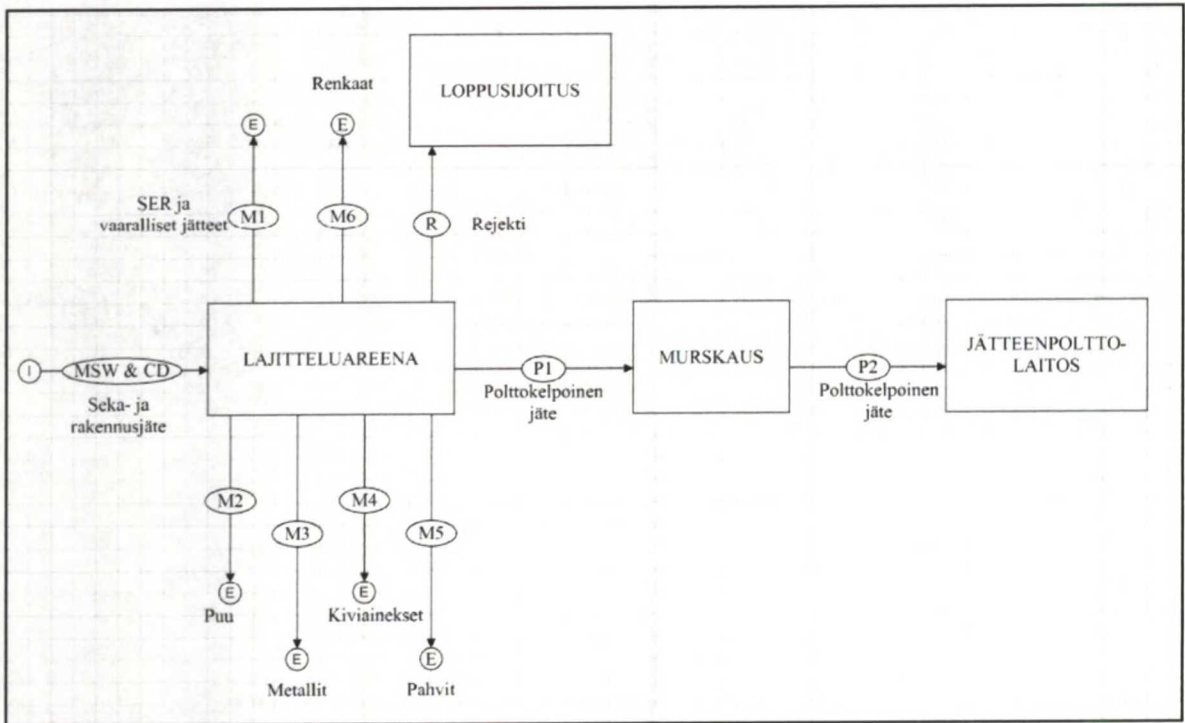




Kuva 16. Lajitteluareenalla käytettyjä jätteenkäsittelykoneita: materiaalikäsittelykouralla varustettu kaivinkone ja magneettierottimella varustettu jätemurskain

Ensimmäiseksi jätteen seasta poistetaan lajittelulla vaaralliset jätteet ja sähkö- ja elektroniikkajäte (SER) sekä materiaalina hyödynnettävät jätejakeet. Materiaalina hyödynnettävät jätejakeet – puu, metallit, kiviainekset ja pahvi – lajitellaan suoraan kuljetuslavoille ja kuljetetaan hyötykäyttöön. Puujätteestä erotellaan käsitelty ja käsittelemätön puujäte ja ne haketetaan jätemurskaimella pienempään palakokoon. Tässä diplomityössä puujäte lasketaan mukaan materiaalihyödynnettäviin jätejakeisiin, koska puujätettä ei toimiteta yhdyskuntajätteen polttolaitokselle vaan hyödynnettäväksi energiana teollisuuslaitoksessa. Metallit toimitetaan käsiteltäväksi metalliromua käsittelevään yritykseen ja kiviainekset toimitetaan murskattavaksi ja edelleen hyötykäyttöön. Pahvijäte paalataan tilavuuden pienentämiseksi ja kuljetetaan hyötykäyttöön.

Materiaalihyödyntämiseen kelpaamattomat jätteet – likaantunut pahvi ja kartonki sekä muovit – lajitellaan polttokelpoiseen jätteeseen. Polttokelpoinen jäte murskataan jätemurskaimella polttoon sopivaan partikkelikokoon, jonka tulee olla alle 0,8 m x 0,8 m x 0,8 m laatikkomaisille ja kuutiomaisille esineille ja 0,8 m x 1,0 m x 0,4 m pitkille kappaleille. Kaikki jätejakeet punnitaan lajittelun jälkeen jätekeskuksen vaaka-asemalla. Kuvassa 17 on esitetty lajitteluareenan jätevirtakaavio.



Kuva 17. Lajitteluareenan jätteenkäsittelyn jätevirtakaavio

Hyödynnettävien materiaalien ja polttokelpoisen energiajätteen lisäksi jätteenkäsittelyssä muodostuu hyötykäyttöön kelpaamatonta rejektiä. Rejektiin päätyvät muun muassa rakennusjätteen sisältämät eristevillat ja kipsilevyt, joille ei ainakaan toistaiseksi ole hyötykäyttömahdollisuutta materiaalina. Polttokelpoisen jätteen sekaan kyseiset materiaalit eivät myöskään sovellu, koska esimerkiksi kipsilevyistä muodostuu polton aikana haitallista rikkidioksidia ( $\text{SO}_2$ ). Rejekti sijoitetaan kaatopaikan loppusijoitusalueelle ja sen tulee täyttää kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset.

#### 4.2.2 Jättemäärät ja lajitellut jättejakeet

Lajitteluareenalla vastaanotetun jätteen määrä saatiin jätekeskuksen jätteiden punnitustiedoista. Tutkimuksen toteutusaikana 24.10.2012 – 30.4.2013 lajitteluareenalla vastaanotettiin jätettä yhteensä noin 12 600 tonnia, josta sekajätettä oli 7 500 tonnia ja rakennusjätettä 5 100 tonnia.

Materiaalina hyödynnettäviä jakeita otettiin talteen 2 000 tonnia eli 16 % vastaanotetun jätteen määrästä. Puuta toimitettiin hyötykäyttöön noin 1 200 tonnia (9,5 %), metalleja noin

640 tonnia (5,1 %) ja kiviaineksia noin 190 tonnia (1,5 %). Metallijae sisältää myös polttokelpoisen jätteen murskauksen yhteydessä syntyvän magneettisten metallien jakeen, jonka määrä on noin 50 % talteenotettujen metallien kokonaismäärästä. Pahvin keräys aloitettiin huhtikuun alussa, joten tutkimusaikana lajitteluareenalla talteenotettavan pahvin määrä on alle kuukauden kertymä. Materiaalina hyödynnettävien jakeiden kokonaismäärässä on mukana sähkö- ja elektroniikkajätteiden sekä vaarallisten jätteiden määrä, joiden osuus jää kuitenkin alle prosenttiin vastaanotetun jätteen määrästä.

Suurin osa lajitteluareenalla vastaanotetusta jätteestä päätyi jätteenpolttolaitokselle. Polttokelpoisen jätteen määrä tutkimusaikana oli 9 300 tonnia eli 74 % lajitteluareenalla vastaanotetun jätteen määrästä. Loppusijoittavaksi toimitettiin 1 270 tonnia jätettä eli vain 10 % vastaanotetun jätteen määrästä. Tutkimusaikana lajitteluareenalla lajitellut jätejakeet on esitetty taulukossa 2.



Taulukko 2. Lajitteluareenalla lajitellut jättejakeet tutkimusaikana 24.10.2012 – 30.4.2013

	Jättemäärä [t]	Osuus [%]
<b>VASTAANOTETUN JÄTTEEN MÄÄRÄ</b>	<b>12 624</b>	<b>100</b>
<b>MATERIAALIHYÖDYNNETTÄVÄT JAKEET YHTEENSÄ</b>	<b>2 038</b>	<b>16</b>
<b>PUU</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ käsittelemätön puu (kuormalavat, sahauspätäkät, rimat)</li> <li>▪ käsitelty puu (maalattu, pinnoitettu)</li> <li>▪ lastulevy, vaneri, kovalevy, mdf-levy</li> <li>▪ puukalusteet ja -kaapit</li> </ul>	1 197	9,5
<b>METALLIT</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ metalliromu, kuten tiskipöydät, hanat, liittimet, kattopellit, valurauta, ilmastointiputket, peltilevyt, raudoitusteräket</li> <li>▪ metalliputket</li> <li>▪ kaapelit</li> <li>▪ tyhjät maalipurkit ja painepakkaukset</li> <li>▪ pienet metallitarvikkeet, kuten naulat, ruuvit, vetimet</li> </ul>	638	5,1
<b>KIVIAINEKSET</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ betoni</li> <li>▪ tiilet ja laatat</li> <li>▪ keramiikka ja posliini tms. kivipohjaiset ainekset</li> </ul>	188	1,5
<b>SÄHKÖ- ja ELEKTRONIIKKAJÄTE</b>	6,8	0,05
<b>AUTONRENKAAT</b>	4,9	0,04
<b>PAHVI *</b>	3,2	0,03
<b>VAARALLISET JÄTTEET</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• maalit ja öljyt</li> <li>• akut ja paristot</li> </ul>	0,94	0,01
<b>ENERGIAHYÖDYNNETTÄVÄ POLTTOKELPOINEN JÄTE</b>	<b>9 320</b>	<b>74</b>
<b>LOPPUSIJOITETTAVA REJEKTI</b>	<b>1 266</b>	<b>10</b>

\*pahvin talteenotto aloitettiin huhtikuussa 2013

### 4.3 Lajittelututkimukset

Polttokelpoisen jätteen ja kaatopaikalle loppusijoitettavan rejektin koostumus määritettiin lajittelututkimuksella. Lajittelututkimusten tarkoituksena oli selvittää, mitä materiaalijakeita päätyy polttokelpoisen jätteen joukkoon ja mitä loppusijoitettavaksi kaatopaikalle.

Polttokelpoisesta jätteestä ja rejektistä tutkittiin molemmista kuusi otosta, jotka lajiteltiin 16 materiaalijakeeseen. Otosten lajittelu suoritettiin lajitteluareenalla 3-4 henkilön toimesta ja yhden otoksen lajitteluun ja jakeiden punnitukseen kului aikaa noin 4 tuntia. Ennen tutkimusta lajittelulle varattu alue puhdistettiin ja lajitelluille materiaalijakeille varattiin astioita punnitusta varten.

Polttokelpoisen jätteen otokset lajiteltiin maaliskuun viikoilla 10 ja 11 sekä huhtikuun viikoilla 15, 16 ja 17. Rejektin otoksiksi valittiin helmikuun viikoilla 7, 8 ja 9 sekä huhtikuun viikoilla 15, 16 ja 17 lajitteluareenalta loppusijoitettava rejektikuorma. Lajittelun jälkeen jokainen materiaalijae punnittiin haarukkavaunuvaa'alla, jonka punnitustarkkuus oli 0,2 kg. Lajitelluista jakeista laskettiin lajiteltavan otoksen kokonaispaino. Keskimääräinen paino polttokelpoisen jätteen otoksille oli 0,39 tonnia ja rejektikuormille 1,31 tonnia. Lajittelujäännöksenä jäi hienoaines, joka on partikkelikooltaan pientä halkaisijaltaan alle 50 mm kokoista materiaalia.

Polttokelpoisen jätteen otokset otettiin satunnaisotannalla kaivinkoneen kouralla eri puolilta polttokelpoisen jätteen kasaa. Yksi otos sisälsi noin 10 kaivinkoneen kourallista polttokelpoista jätettä. Polttokelpoisen jätteen lajittelututkimus tehtiin ennen kuin jäte murskattiin polttoon kelpaavaan partikkelikokoon, jotta materiaalijakeet olisivat tunnistettavia ja helpommin lajiteltavia. Loppusijoitettavan rejektin otokset purettiin kuormalavoilta lajittelulle varatulle alueelle. Kuvassa 18 on lajittelututkimuksen polttokelpoisen jätteen otos ja rejektikuorma huhtikuulta.



Kuva 18. Polttokelpoisen jätteen lajitteluotos (vasemmalla) ja loppusijoitettava rejektikuorma (oikealla)

### 4.3 Lopputuotteiden ominaisuuksien tutkimusmenetelmät

Jätteenkäsittelyn lopputuotteiden laadun määrittäminen tehtiin polttokelpoisesta jätteestä, kaatopaikalle sijoitettavasta rejektistä sekä rejektin ja polttokelpoisen jätteen lajittelujäännöksestä eli hienoaineksesta. Polttokelpoisesta jätteestä tutkittiin polttoaineen laatu kierrätyspolttoaineanalyysillä. Loppusijoitettavasta rejektistä tutkittiin jätteen kaatopaikkakelpoisuus kahdesta näytteestä ja orgaanisen aineksen pitoisuus lajittelututkimuksen rejektikuormasta. Rejektin ja polttokelpoisen jätteen hienoaineksesta tutkittiin niiden kaatopaikkakelpoisuus kokoomanäytteillä, jotta saadaan selville, voidaanko hienoainesta hyödyntää loppusijoitusalueella peitemateriaalina. Lopputuotteiden ominaisuudet määritetään laboratorioanalyysillä standardeihin perustuvilla analyysimenetelmillä.

#### 4.3.1 Kierrätyspolttoaineanalyysi

Kierrätyspolttoaineanalyysillä määritetään polttokelpoisen jätteen laatu polttoaineena. Standardissa SFS-EN 15359 on määritetty raja-arvot polttoaineen teholliselle lämpöarvolle ja kloori- ja elohopeapitoisuuksille. Lisäksi polttoaineesta tulee standardin mukaan tutkia kosteus- ja tuhkapitoisuudet ja metallipitoisuudet. Kalorimetrinen lämpöarvo eli polttoaineen täydellisessä palamisessa muodostuva energia polttoaineen massaa kohden määritetään pommikalorimetrillä, jossa tunnettu määrä näytettä poltetaan korkeassa paineessa hapella ja vapautuva energiamäärä mitataan (SFS-EN 15400). Kalorimetrinen



lämpöarvo voidaan muuttaa laskennallisesti näytteen kosteuspitoisuuden perusteella teholliseksi lämpöarvoksi, jossa myös polttoaineen sisältämän veden höyrystymisenergia lasketaan mukaan. Tehollinen lämpöarvo on veden höyrystymisestä johtuen aina alhaisempi kuin kalorimetrinen lämpöarvo. Kloorin määrittämiseksi näyte hapetetaan ja näytteestä vapautunut kloridi mitataan absorptioluoksesta (SFS-EN 15408). Raskasmetallien ja elohopean määrittäminen tehdään mikroaaltouunihajotuksena, jossa näyte hajotetaan vahvan hapon avulla ja happoon liukenevien metallien pitoisuudet määritetään kemiallisilla analyysimenetelmillä (SFS-EN 15411).

#### **4.3.2 Kaatopaikkakelpoisuustestaus**

Valtioneuvoston asetuksessa kaatopaikoista (Vna 331/2013) on määritetty kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset pysyvän jätteen, ongelmajätteen ja tavanomaisen jätteen kaatopaikoille. Tässä diplomityössä tarkasteltava jäte sijoitetaan tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Kaatopaikkakelpoisuustestauksella määritetään loppusijoitettavan jätteen sisältämien haitta-aineiden liukoisuusominaisuuksia. Loppusijoitettavan rejektin kaatopaikkakelpoisuuden arviointi tehtiin kaksivaiheisella ravistelutestillä. Ravistelutestissä haitta-aineet liukenevat nesteeseen, josta niiden pitoisuudet määritetään kemiallisin analyysimenetelmin. Lisäksi loppusijoitettavasta jätteestä määritettiin haponneutralointikapasiteetti ja pH-arvo kaatopaikkakelpoisuusarviointia varten.

#### **4.3.3 Orgaanisen aineksen kokonaispitoisuus**

Loppusijoitettavan jätteen orgaanisen aineksen pitoisuus määritettiin kokonaisorgaanisen hiilen arvona (TOC, Total Organic Carbon) ja hehkutushäviönä (LOI, Loss On Ignition). TOC- ja LOI-analyysit ovat yleisimmin käytetyt kemialliset menetelmät jätteen orgaanisen aineksen määrittämiseen. Orgaanisen aineksen kokonaispitoisuus määritettiin laboratoriossa standardin SFS-EN 13137 mukaan ja hehkutushäviö standardin SFS-EN 15169 mukaan.

LOI-määrittämisessä jättenäyte hehkutetaan muhveliuunissa 550 °C:en lämpötilassa, jolloin näytteen orgaaninen aine palaa pois (SFS-EN 15169). Hehkutushäviö lasketaan jättenäytteen massan erotuksesta ennen ja jälkeen kuumennusprosessin. TOC-pitoisuuden määrittäminen perustuu myös näytteen orgaanisen aineen palamiseen. TOC-määrittämisessä jättenäyte hapetetaan ja vapautunut hiilidioksidi mitataan. (SFS-EN 13137).

#### 4.4.4 Näytteenotto

Polttokelpoinen jäte murskataan polttoon soveltuvaan palakokoon, joten jätemateriaali on homogeenista ja partikkelikooltaan tasalaatuista. Polttokelpoisen jätteen näytteenottoon voidaan siten tehdä satunnaisotannalla standardin CEN/TR 15310-2 mukaisesti osa 11. ”Suuri muuttumaton määrä” (kohta 11.2.3). Polttokelpoisen jätteen kierrätyspolttoaineanalyysi tehtiin yhdestä näytteestä ja näytemäärä oli noin 20 litraa. Myös lajittelututkimuksen lajittelujäännösten kaatopaikkakelpoisuuden selvittämiseksi hienoainesten näytteenotto suoritettiin satunnaisotannalla samoin kuin polttokelpoiselle jätteelle.

Loppusijoitettavalle rejektille valittiin näytteenottomenetelmäksi harkinnanvarainen otanta, koska jätemateriaali on hyvin heterogeenistä ja sisältää partikkelikooltaan suuriakin kappaleita. Harkinnanvarainen näytteenotto tehtiin standardin CEN/TR 15310-2 mukaisesti osan 12. ”Näytteenotto karkeasta kiinteästä aineksesta” ohjeistusta noudattaen. Rejektin lajittelututkimuksessa lajiteltuja materiaali-jakeita punnittiin määrällisesti yhtä paljon laboratorionäytteeseen. Kaatopaikkakelpoisuustestausta varten rejektinäytteen kokonaispaino oli noin 2 kg. TOC- ja LOI-määrittäykseen tarvittava näytemäärä oli noin 0,5 kg.

Näytteenoton jälkeen näytteet toimitettiin laboratorioon, jossa näytteet esikäsiteltiin leikkurimurskaimella palakoon pienentämiseksi. Näytteenottosuunnitelma on esitetty liitteessä 1. Näytteenottosuunnitelma perustuu standardiin SFS-EN 14899 ja CEN/TR 15310-2.

#### 4.4 Materiaalivirta-analyysi STAN-ohjelmistolla

Lajitteluareenan materiaalivirta-analyysi tehtiin STAN-ohjelmistolla, jonka avulla selvitettiin lajitteluareenan jätteenkäsittelyn kokonaiskustannukset. Materiaalivirta-analyysillä pyrittiin myös selvittämään, kuinka paljon materiaali-jakeita lajitteluareenalla on taloudellisesti mahdollista kierrättää.



#### 4.4.1 Lähtöolettamukset

Lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan tuotot muodostuvat asiakkailta perittävistä jätemaksuista ja talteenotettujen materiaalien myynnistä saatavista tuotoista. Jätteenkäsittelyn kustannukset muodostuvat materiaalien talteenottokustannuksista sekä jätteenpolton ja loppusijoituksen kustannuksista. Lisäksi kustannuksia muodostuu polttokelpoisen jätteen murskauksesta ja puun haketuksesta sekä jättejakeiden kuljetuksista hyötykäyttöön tai loppusijoitusalueelle. Lajitteluareenan investointikustannuksia ei huomioida laskelmissa.

Oulun Jätehuollon vastaanottohinta seka- ja rakennusjätteelle oli vuonna 2012 87,61 €/t ja vuonna 2013 102 €/t (Oulun Jätehuolto 2013). Materiaalien talteenotto- ja käsittelykustannukset eri jättejakeille sekä materiaali-jakeista saatavat tuotot on koottu pääosin suomalaisista tutkimusraporteista. Kuljetuskustannukset on arvioitu lajitteluareenalta tutkimusaikana pois kuljetettujen kuormamäärien ja kuljetusmatkojen perusteella.

Materiaalit, joilla on taloudellista arvoa kierrätysmateriaalina, ovat metalli- ja puujätteet sekä puhdas pahvi. Kierrätysteräksen keskimääräinen tonninhinta vuonna 2006 oli 137 €/t. Ruostumattoman teräksen (rosteri), alumiini- ja kupariromun tonninhinta on kuitenkin moninkertainen teräsromuun verrattuna. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010). Tämän diplomityön puitteissa ei kuitenkaan ollut mahdollista saada tietoa arvokkaamman metalliromun määrästä jätevirrassa. Metallirokun tuottoja laskettaessa on tämän vuoksi käytetty koko metalliromun määrälle kierrätysteräksen keskimääräistä hinta-arviota.

Kuitupohjaisten kierrätysmateriaalien – paperi, kartonki ja pahvi – keskimääräisen kotimainen markkinahinta on ollut 2007 alussa noin 80 €/t (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010). Paperinkeräys Oy:n (2012) internet-sivuilta saadun tiedon mukaan ruskeasta pahvista ja kartongista maksettava korvaus on 12 €/tonni, jota käytetään taloudellisten laskelmien tuottona pahville.

Puujätteestä saatavaksi tuloksi voidaan arvioida noin 20 €/tonni (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010). Käsitlemättömästä puusta saatava tuotto on yleensä merkittävästi suurempi eli noin 50 €/tonni (Myllymaa et al. 2008). Käsitlemättömän puun osuutta



puujätteen kokonaismäärästä ei tämän selvityksen osalta ollut saatavissa, joten laskelmissa käytetään tuottoa 20 €/t kaikelle puujätteelle.

Hyödynnettävien materiaalien talteenottokustannuksiksi on arvioitu 39 €/t (Massarutto et al. 2011). Talteenottokustannuksella tarkoitetaan lajittelemattoman sekalaisen jätteen mekaanista lajittelua materiaalien talteenottamiseksi. Jätteenpolton kustannukset voidaan arvioida olevan 75 €/t, kun jätteenpolttolaitos sijaitsee taajaman yhteydessä, polttoprosessi perustuu arinapolttotekniikkaan ja kapasiteetti on 100 000 t/a (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010).

Jätteen sijoittamisen tavanomaiselle kaatopaikalle kaatopaikkasijoituskustannus on arviolta 22 – 36 €/jätetonne (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010). Kustannusarvio perustuu jätelaitosyhdistyksen vuoden 2006 tietojen perusteella tehtyihin laskelmiin. Esimerkiksi täyttömäärän ollessa 45 000 tonnia vuodessa on kaatopaikkasijoituksen kustannus arviolta 30 €/t. Lisäksi jätteen sijoittamisesta kaatopaikalle maksetaan jätevero, joka on vuonna 2013 50 €/t (Jäteverolaki 1126/2010). Materiaalivirta-analyysissä rejektin loppusijoituskustannus arvioidaan näiden tietojen perusteella olevan 80 €/t.

Käsittelykustannukset koostuvat puun ja polttokelpoisen jätteen murskauksesta sekä pahvin paalauksesta. Paalaimen vuosikustannus on arvioitu olevan 6 000 €/a (Myllymaa et al. 2008). Murskaukustannukset on arvioitu jätemurskaimen kapasiteetin perusteella. Jätemurskaimen kapasiteetti polttokelpoiselle jätteelle on 20 t/h ja puulle 15 t/h (Konejussi Oy 2012). Jätteen murskauksesta aiheutuvat käsittelykustannukset polttokelpoiselle jätteelle ovat siten 10 €/t ja puulle 17 €/t.

Kuljetuskustannukset on arvioitu käyttämällä kuorma-auton tuntihintana 60 €/h (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010). Kuormamäärät ja kuormien keskimääräinen paino on saatu jätekeskuksen jätteiden punnitustiedoista lajitteluareenalta pois toimitettavista kuormista. Rejektikuorman keskimääräinen paino on 4,5 tonnia, polttokelpoisen jätteen kuorman keskimääräinen paino on 8,5 tonnia ja materiaalihyödyntämiseen toimitettavien kuormien keskimääräinen paino on 5 tonnia. Materiaalihyötykäyttöön toimitettavat jakeet hyödynnetään pääosin Oulun alueella. Hyödynnettävät kipsilevyt joudutaan kuitenkin kuljettamaan Etelä-Suomeen kipsilevytehtaalte, jolloin rahtikustannusten on arvioitu olevan 35 €/t (Kangasniemi 2013).

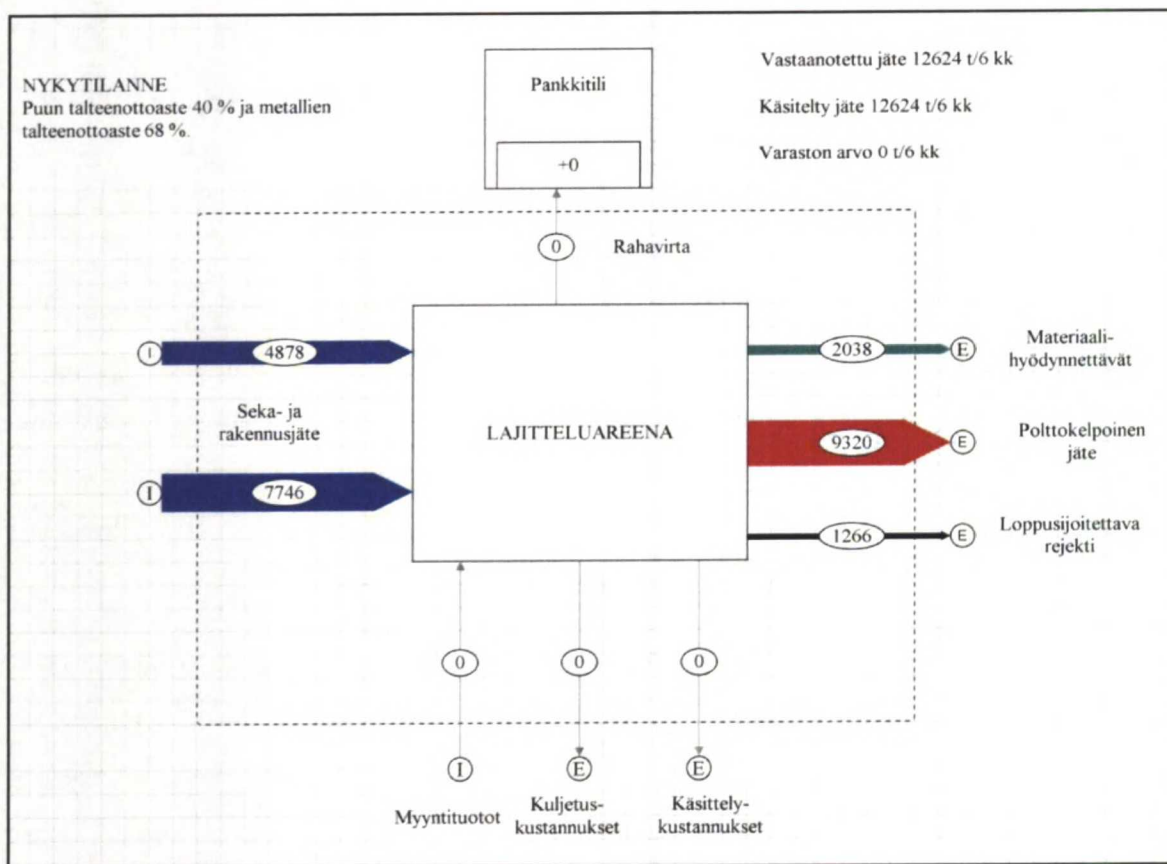
Kuormien kuljetusajaksi on arvioitu rejehtille 0,5 tuntia sekä hyödynnettäville materiaaleille ja polttokelpoiselle jätteelle 1 tunti. Kuljetuskustannus on siten rejehtille noin 30 €/kuorma sekä 60 €/kuorma polttokelpoiselle jätteelle ja hyödynnettäville materiaaleille.

#### 4.4.2 Jätevirtaskenaariot

STAN-ohjelmistoon mallinnettiin systeemikuvaus lajitteluareenan jätevirroista ja syötettiin tunnetut tiedot jätemäärien ja lajiteltujen jätejakeiden osalta sekä kustannukset ja tuotot jätetonna kohti materiaalien talteenotosta, jätteenpoltosta ja loppusijoituksesta. Käsittelykustannukset polttokelpoiselle jätteelle, puulle ja pahville sekä kuljetuskustannukset ja materiaalien myyntituotot laskettiin Microsoft Excel-ohjelmalla ja syötettiin STAN-ohjelmistoon erillisinä virtoina.

Lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan tarkasteluun valittiin kolme vaihtoehtoa – tutkimusaikana toteutunut nykytilanne, skenaario 1 ja skenaario 2. Materiaalivirta-analyysin lähtötiedot on koottu liitteeseen 2. Skenaarioissa 1 ja 2 kasvatettiin materiaalien talteenottomääriä, koska taloudellisen tarkastelun tarkoituksena on selvittää, kuinka paljon materiaaleja on taloudellisesti kannattavaa kierrättää. Kaikissa tutkituissa vaihtoehtoissa huomioidaan kustannusten ja tuottojen muutokset materiaalivirtojen muuttuessa. Tutkittavat jätevirtaskenaariot ovat:

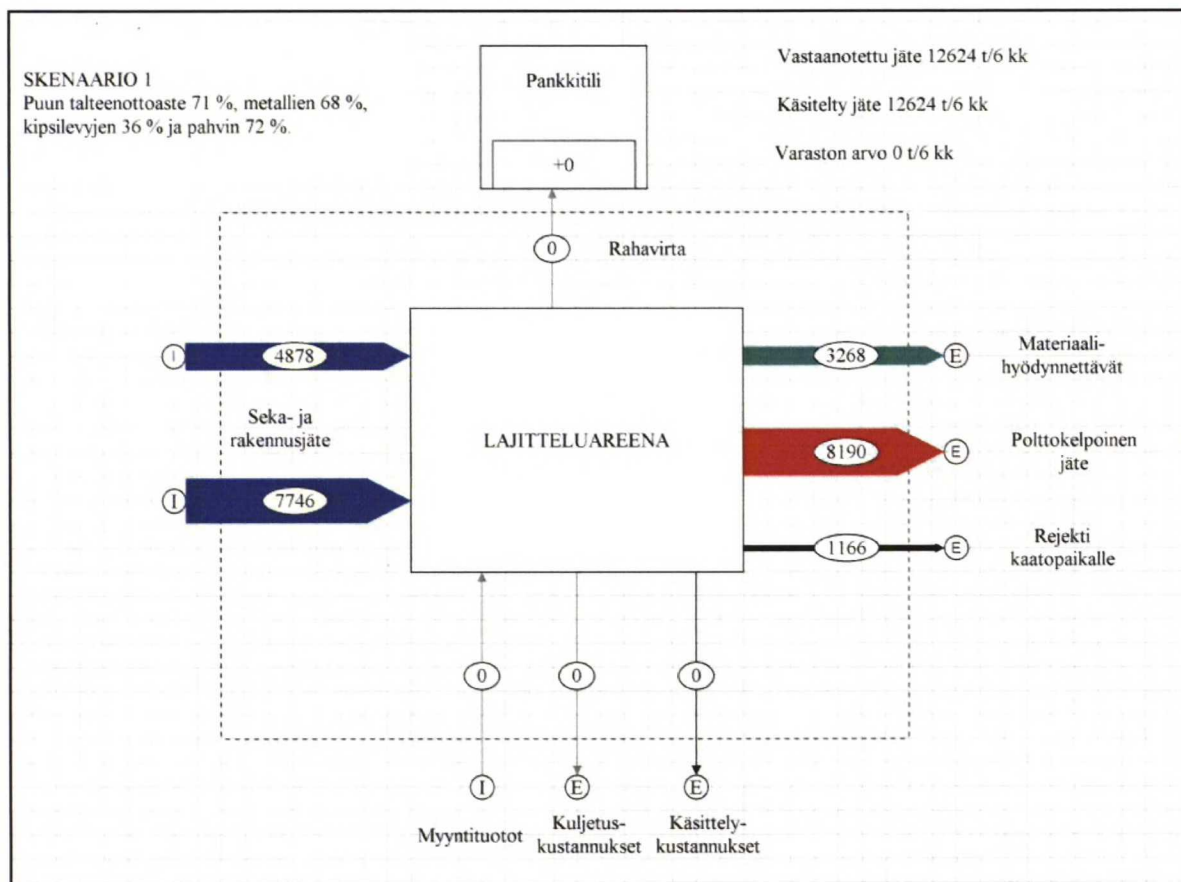
- 1) Tutkimusaikana toteutunut tilanne (kuva 19), jossa jätteet lajitellaan materiaalina hyödynnettäviin ja polttokelpoiseen jätteeseen sekä loppusijoitettavaan rejehtiin. Puun talteenottoaste on 40 % ja metallien talteenottoaste on 68 %.



Kuva 19. Lajitteluareenan jätevirrat tutkimusaikana toteutuneessa tilanteessa (jätevirrat t/6 kk)

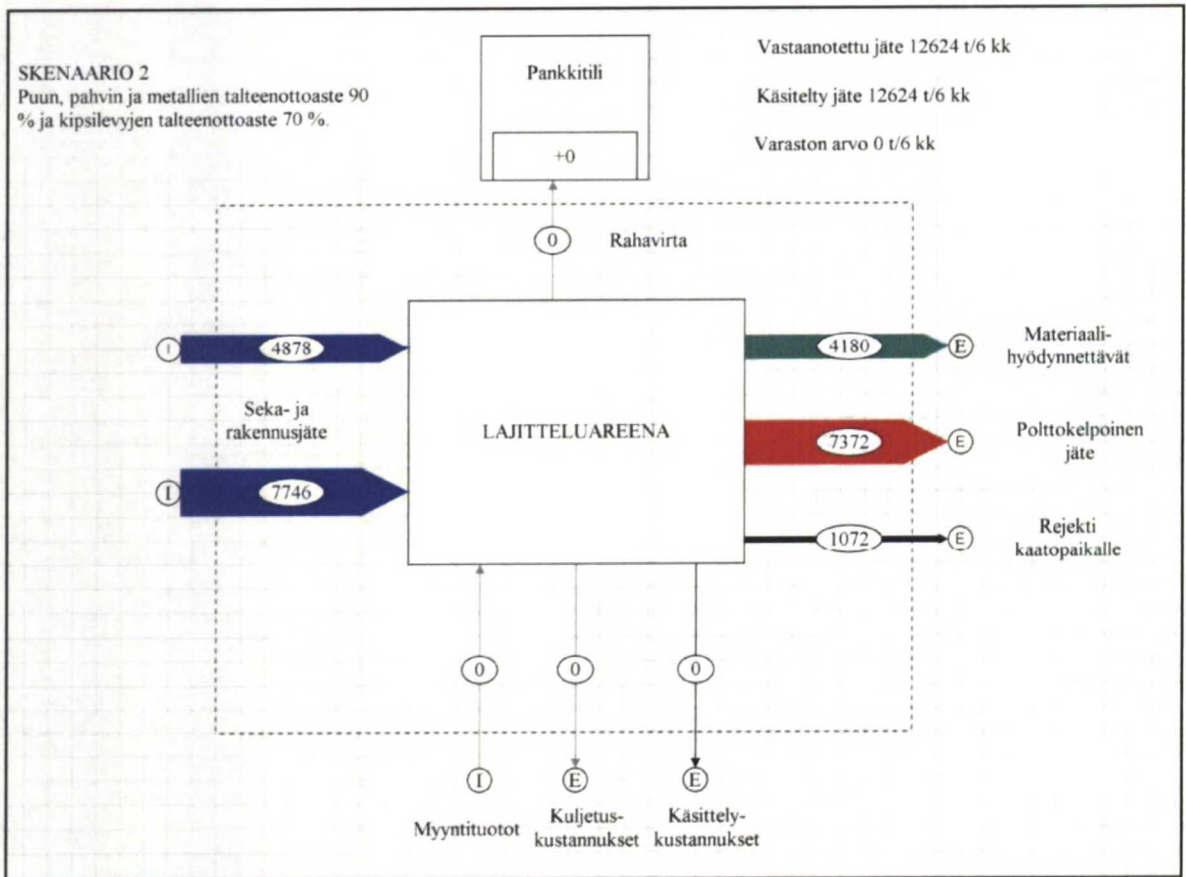
- 2) Materiaalien talteenottoa tehostetaan puun, pahvin ja kipsilevyjen osalta (kuva 20). Puu ja pahvi poistuvat polttokelpoisen jätteen virrasta ja kipsilevyt loppusijoitettavasta rejektistä. Puun talteenottoaste nousee 70 %:iin, kipsilevyjen 35 %:iin ja pahvin 70 %:iin.





Kuva 20. Lajitteluareenan jätevirrat skenaariossa 1 (jätevirrat t/6 kk)

- 3) Materiaalien talteenottoa tehostetaan edelleen puun, pahvin ja kipsilevyjen sekä metallien osalta (kuva 21). Puu, pahvi ja metallit poistuvat polttokelpoisen jätteen virrasta ja kipsilevyt loppusijoitettavasta rejektistä. Puun, pahvin ja metallien talteenottoasteet nousevat 90 %:iin ja kipsilevyjen 70 %:iin.



Kuva 21. Lajitteluareenan jätevirrat skenaariossa 2 (jätevirrat t/6 kk)

## 5 TUTKIMUSTULOKSET

Lajitteluareenan jätteenkäsittelyn lopputuotteiden koostumus määritettiin polttokelpoisen jätteen ja loppusijoitettavan rejektin osalta lajittelututkimuksella. Lajittelututkimuksen ja lajitteluareenalla talteenotettujen materiaali- ja jätteenkäsittelykelpoisuuden perusteella arvioitiin laskennallisesti lajitteluareenalla vastaanotettavan jätteen koostumus. Lopputuotteiden ominaisuuksia selvitettiin puolestaan laboratorioanalyysillä. Jätteenpolttolaitokselle toimitettavalle polttokelpoiselle jätteelle tehtiin kierrätyspolttoaineanalyysi ja loppusijoitettavasta rejektistä määritettiin kaatopaikkakelpoisuus, joka sisältää muun muassa jätteen orgaanisen aineksen kokonaispitoisuuden määrittämisen. Lisäksi tutkittiin polttokelpoisen jätteen ja loppusijoitettavan rejektin lajittelujäännöksen eli hienoaineksen kaatopaikkakelpoisuus.

Lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan taloudellisuutta tarkasteltiin kolmessa eri vaihtoehdossa: nykytila sekä skenaario 1 ja 2. Taloudellisen tarkastelun tavoitteena oli selvittää, onko jätteenkäsittelijälle taloudellisesti edullisempaa ottaa talteen hyödynnettäviä materiaaleja jätevirrasta vai prosessoida jäte toimitettavaksi jätteenpolttolaitokselle.

## **5.1 Lajittelututkimukset**

Lajittelututkimus tehtiin kuudesta polttokelpoisen jätteen otoksesta ja kuudesta loppusijoitettavasta rejektistä lopputuotteiden koostumuksen selvittämiseksi.

### **5.1.1 Polttokelpoinen jäte**

Lajittelututkimuksen perusteella polttokelpoisen jätteen suurimmat materiaali- ja keetyt olivat puujätteet, muovit ja kuitupohjaiset jätteet: paperi, kartonki ja pahvi. Taulukossa 3 on esitetty polttokelpoisen jätteen lajittelututkimuksen tulokset.



Taulukko 3. Polttokelpoisen jätteen lajittelututkimuksen tulokset

	Otos 1	Otos 2	Otos 3	Otos 4	Otos 5	Otos 6	Keskiarvo
<b>Jätejae</b>	%	%	%	%	%	%	%
Puu *	11	20	26	20	23	8	20
<b>Muovi *</b>	<b>27</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>32</b>	<b>18</b>
Paperi, kartonki ja pahvi *	31	14	7,3	6,9	7,4	22	12
<b>Kipsilevyt</b>	<b>0,4</b>	<b>2,8</b>	<b>16</b>	<b>8,0</b>	<b>3,8</b>	<b>5,9</b>	<b>6,7</b>
Tekstiilit *	0	11	1,8	3,6	3,9	8,5	4,7
<b>Metallit ***</b>	<b>1,5</b>	<b>3,7</b>	<b>2,8</b>	<b>4,7</b>	<b>3,8</b>	<b>1,4</b>	<b>3,4</b>
Kiviainekset	0	5,2	2,2	3,2	2,6	2,6	2,9
<b>Isot kappaleet *</b>	<b>0</b>	<b>5,1</b>	<b>3,3</b>	<b>1,1</b>	<b>2,1</b>	<b>0</b>	<b>2,2</b>
Eristevillat	1,7	0,3	2,0	1,8	1,8	1,1	1,5
<b>Biojäte *</b>	<b>3,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,5</b>	<b>1,8</b>	<b>0</b>	<b>4,0</b>	<b>1,3</b>
Kumi *	0	0	0,7	0,3	0,6	1,8	0,5
<b>Bitumilevyt *</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0</b>	<b>0,3</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	<b>0,5</b>
SER-jäte	0	0,4	0,2	0,2	0,2	0,04	0,2
<b>Lasi</b>	<b>0</b>	<b>0,3</b>	<b>0,05</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>
Vaaralliset jätteet	0	0	0	0,04	0,02	0,04	0,02
<b>Hienoaines **</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>11</b>	<b>26</b>
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

\* = polttokelpoinen materiaali

\*\* = osittain polttokelpoinen materiaali

\*\*\* = magneettiset metallit poistuvat jätteenpolttolaitokselle toimitettavan jätteen joukosta murskauksen yhteydessä

Polttokelpoisen jätteen murskauksen yhteydessä jätteestä poistetaan magneettiset metallit, joten jätteenpolttolaitokselle toimitettava jae ei sisällä magneettisia metalleja. Polttokelpoisiksi materiaaleiksi voidaan luokitella puujätteet, muovit, paperi, kartonki ja pahvi sekä tekstiilit, isot kappaleet, biojäte, kumi ja bitumilevyt. Näiden yhteenlaskettu osuus polttokelpoisesta jätteestä lajittelututkimuksen perusteella oli yhteensä noin 60 %.

Sähkö- ja elektroniikkajätettä (SER) ja vaarallisia jätteitä oli lähes kaikissa lajitelluissa otoksissa. SER-jäte sisälsi mm. sauvasekoittimen, laskukoneen ja palovaroittimen. Vaarallisia jätteitä olivat patterit ja energiansäästölamput. Isot kappaleet olivat sohvan ja nojatuolien osia, hiihtosuksi ja lasten leikkiteltoa.

Hienoaineksen (kuva 22) määrä polttokelpoisessa jätteessä oli keskimäärin neljännes. Hienoaines sisälsi suurimmaksi osaksi palamatonta materiaalia, kuten murskaantuneita kipsilevyjen palasia ja hienojakoista kiviainesta, mutta myös palavaa materiaalia, kuten styrox-paloja ja kipsilevyn pintakartonkia.



Kuva 22. Polttokelpoisen jätteen lajittelujäännös (hienoaines)

Lajittelututkimuksen otoksista 4, 5 ja 6 lajiteltiin ja punnittiin erikseen PVC-muovi ja kuitupohjaisten materiaalien seasta pahvi sekä käsittelemätön puu ja käsittelemätön kipsilevy. Kolmen otoksen perusteella puujätteestä käsittelemätöntä puuta oli noin 20 %. Kierrätykseen kelpavaa käsittelemätöntä kipsilevyä oli noin 50 % kipsilevyn

kokonaismäärästä. Kuitupohjaisista jätteistä puhdasta pahvia oli noin 30 %. PVC-muovin määrä oli noin 20 % muovin kokonaismäärästä. PVC-muovin tunnistaminen jätteen seasta oli haastavaa, koska kaikissa muoveissa ei ollut merkintää muovilaadusta.

### **5.1.2 Loppusijoitettava rejekti**

Lajittelututkimuksen perusteella loppusijoitettavan rejektin suurimmat materiaali- ja jätteet olivat eristevillat ja kipsilevyt, joiden yhteenlaskettu osuus rejektissä oli noin 45 %. Sekalaisen jätteen joukosta eristevilloja ja kipsilevyä on vaikea lajitella puhtaana ja hyötykäyttää materiaalina. Kyseisiä materiaali- ja jätteitä ei voi myöskään hyödyntää energiana, joten ne päätyvät kaatopaikalle. Taulukossa 4 on esitetty rejektin lajittelututkimuksen tulokset.



Taulukko 4. Loppusijoitettavan rejektin lajittelututkimuksen tulokset

	Kuorma 1	Kuorma 2	Kuorma 3	Kuorma 4	Kuorma 5	Kuorma 6	Keskiarvo
<b>Jätejae</b>	%	%	%	%	%	%	%
Kipsilevyt	4,3	27	10	26	25	40	23
<b>Eristevillat</b>	<b>46</b>	<b>8,0</b>	<b>52</b>	<b>4,0</b>	<b>41</b>	<b>7,6</b>	<b>21</b>
Puu *	5,1	7,2	17	5,9	6,9	6,3	7,9
<b>Kiviainekset</b>	<b>4,4</b>	<b>1,2</b>	<b>2,5</b>	<b>16</b>	<b>1,8</b>	<b>2,3</b>	<b>4,7</b>
Muovi *	3,4	5,7	3,0	3,1	2,9	1,6	3,8
<b>Metallit</b>	<b>2,0</b>	<b>1,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>2,3</b>	<b>1,2</b>
Paperi, kartonki ja pahvi *	0,9	0,7	0,4	0,9	0,6	1,3	0,8
<b>Bitumilevyt *</b>	<b>1,3</b>	<b>0,02</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,02</b>	<b>0,07</b>	<b>0,3</b>
Tekstiilit *	0,6	0,3	0,02	0,04	0,1	1,3	0,2
<b>Lasi</b>	<b>0,03</b>	<b>0</b>	<b>1,7</b>	<b>0,05</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,2</b>
SER-jäte	0	0	0	0	0,2	0,2	0,05
<b>Vaaralliset jätteet</b>	<b>0,1</b>	<b>0</b>	<b>0,07</b>	<b>0,1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,04</b>
Biojäte *	0	0	0	0,07	0,04	0,02	0,02
<b>Kumi *</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,04</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>
Hienoaines **	32	48	13	43	21	37	36
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

\* \* = orgaanista ainesta sisältävä materiaali

\*\* = orgaanista ja epäorgaanista ainesta sisältävä materiaali

Rejektin mukana kaatopaikalle loppusijoitettavaksi päätyy myös hyödynnettävää materiaalia, koska kaikkia materiaaleja ei voida erotella toisistaan. Esimerkiksi purkutyömailta tulevassa kipsilevyssä voi olla kiinnittyneenä puuta. Eristevillat on usein

pakattu joko jätessäkkeihin tai alkuperäisiin pakkausmuoveihin, jolloin myös eristevillojen pakkausmuovi päättyy loppusijoitettavaksi kaatopaikalle.

Orgaanista ainesta sisältäväksi materiaaliksi voidaan laskea rejektissä olevat puu- ja muovijätteet, kuitupohjaiset jätteet, bitumilevyt, tekstiilit, biojäte ja kumi. Näiden yhteenlaskettu osuus loppusijoitettavasta rejektistä lajittelututkimuksen perusteella oli noin 13 %. Myös hienoaines sisältää osittain orgaanista ainesta.

Sähkö- ja elektroniikkajätettä (SER) oli kahdessa lajitellussa rejektikuormassa ja vaarallisia jätteitä kolmessa kuormassa. SER-jätettä olivat lamppu ja matkapuhelimen laturit. Vaarallisia jätteitä olivat patterit ja täysi maalipurkki.

Loppusijoitettavassa rejektissä hienoaineksen (kuva 23) määrä oli keskimäärin hieman yli kolmannes. Hienoaineksen määrä kuormassa 2 on poikkeuksellisen suuri, koska otosta murskattiin kaivinkoneella ennen lajittelua.



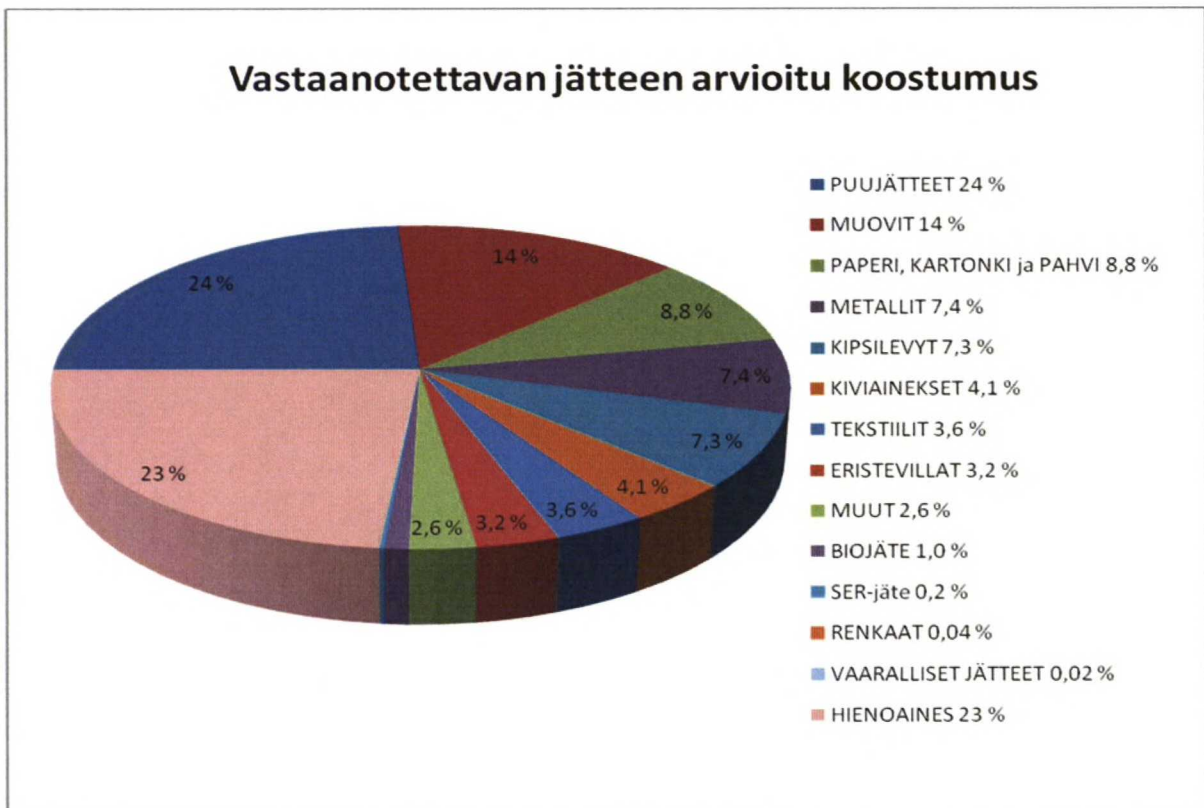
Kuva 23. Loppusijoitettavan rejektin lajittelujäännös (hienoaines)

Lajittelututkimuksen kuormista 4, 5 ja 6 lajiteltiin ja punnittiin erikseen käsittelemätön puu, käsittelemätön kipsilevy ja PVC-muovi sekä kuitupohjaisten jakeiden seasta puhdas kierrätyskelpoinen pahvi. Käsittelemättömän puun osuus rejektin puujätteestä oli noin 25 %. Käsittelemätöntä kipsilevyä oli noin 30 % kipsilevyn kokonaismäärästä. Muovin seassa

PVC-muovia oli noin 30 %. Kuitupohjaisista materiaali- ja jätteistä puhdasta pahvia oli noin 23 %.

## 5.2 Vastaanotettavan jätteen koostumus

Lajitteluareenalla vastaanotettavan jätteen koostumus arvioitiin laskennallisesti talteenotettujen materiaali- ja jätteiden ja lajittelututkimusten perusteella. Lajitteluareenalla vastaanotettavan jätteen suurimmat materiaali- ja jätteet olivat puujätteet (23 %), muovit (14 %), kuitupohjaiset materiaalit (8,8 %) sekä metallit (7,4 %) ja kipsilevyt (7,3 %). Myös hienoaineksen määrä (23 %) vastaanotettavassa jätteessä on merkittävä. Sähkö- ja elektroniikkajätettä ja vaarallisia jätteitä on vastaanotettavan jätteen seassa alle 1 %. Kuvassa 24 on esitetty lajitteluareenalla vastaanotettavan jätteen laskennallisesti arvioitu koostumus.



Kuva 24. Lajitteluareenalla vastaanotettavan jätteen laskennallisesti arvioitu koostumus talteenotettujen materiaali- ja jätteiden ja lajittelututkimusten perusteella (muut: bitumilevyt, kumi, lasi ja isot kappaleet)



Vastaanotettavan jätteen koostumuksen perusteella laskettiin myös materiaali-jakeiden talteenottoasteet, joita hyödynnettiin jätteenkäsittelytoiminnan taloudellisessa tarkastelussa. Tutkimuksen toteutusaikana puun talteenottoaste oli 40 %, metallien 68 % ja kiviainesten 37 % sekä pahvin 1,1 %. Pahvin talteenottoaste on alhainen, koska tutkimusaikana pahvia otettiin talteen alle kuukauden ajan.

### **5.3 Tutkittujen lopputuotteiden ominaisuudet**

Lopputuotteiden ominaisuuksia tutkittiin, jotta saatiin selville polttokelpoisen jätteen laatu polttoaineena ja loppusijoitettavan rejektin kaatopaikkakelpoisuus.

#### **5.3.1 Polttokelpoinen jäte**

Polttokelpoisesta jätteestä tutkittiin polttoaineen laatu kierrätyspolttoaineanalyysillä standardin SFS-EN 15359 mukaan. Kierrätyspolttoaineanalyysi tehtiin yhdestä satunnaisotannalla otetusta jätenäytteestä. Yleensä kierrätyspolttoaineanalyysi tehdään vähintään 10 näytteen perusteella, jotta saadaan luotettavampi tieto polttoaineen laadusta ja ominaisuuksista. Tämän diplomityön puitteissa ei kuitenkaan ollut mahdollista analysoida laatua kuin yhdestä jätenäytteestä. Taulukossa 5 on esitetty kierrätyspolttoaineanalyysin tulokset polttokelpoiselle jätteelle.

Taulukko 5. Polttokelpoisen jätteen kierrätyspolttoaineanalyysin tulokset

		Polttokelpoinen jäte 27.5.2013
Kosteus	%	6,6
Tuhka (550 °)	% ka	36,9
Kloori, Cl	% ka	2,43
Kalorimetrinen lämpöarvo (GCV)	MJ/kg	13,8
Kalorimetrinen lämpöarvo (GCV)	MJ/kg ka	14,8
Tehollinen lämpöarvo (NCV)	MJ/kg	12,6
Tehollinen lämpöarvo (NCV)	MJ/kg ka	13,7
Arseeni (As)	mg/kg ka	4,2
Kadmium (Cd)	mg/kg ka	0,6
Koboltti (Co)	mg/kg ka	27
Kromi (Cr)	mg/kg ka	89
Kupari (Cu)	mg/kg ka	260
Elohopea (Hg)	mg/kg ka	< 0,07
Mangaani (Mn)	mg/kg ka	1 880
Nikkeli (Ni)	mg/kg ka	45
Lyijy (Pb)	mg/kg ka	170
Antimoni (Sb)	mg/kg ka	4
Tallium (Tl)	mg/kg ka	0,2
Vanadiini (V)	mg/kg ka	37
Σ Raskasmetallit *	mg/kg ka	2 516

ka = kuiva-ainetta kohti

\*summa sisältää antimonin, arseenin, kromin, koboltin, kuparin, lyijyn, mangaanin, nikkelin ja vanadiinin pitoisuudet

Standardin SFS 15359 mukaan polttoaine luokitellaan tehollisen lämpöarvon sekä kloori- ja elohopeapitoisuuden mukaan viiteen laatuluokkaan (ks. taulukko 1 kappale 2.3.3 Jätteen energiahyödyntäminen). Tutkitun näytteen perusteella polttokelpoisen jätteen luokkakoodi oli tehollinen lämpöarvo (NCV) 4; klooripitoisuus (Cl) 5; elohopeapitoisuus (Hg) 3.

Polttokelpoisen jätteen klooripitoisuus oli merkittävä, koska jätteen seassa on muun muassa PVC-muovia. Myös tuhkapitoisuus oli polttokelpoisessa jätteessä korkea (37 % kuiva-ainetta kohti), mikä heikentää polttokelpoisen jätteen palamisominaisuuksia. Kuitenkin polttokelpoisen jätteen tehollinen lämpöarvo oli noin 14 MJ/kg, mikä on riittävä yhdyskuntajätteen polttolaitoksella poltettavalle jätteelle.

### **5.3.2 Loppusijoitettava rejekti**

Loppusijoitettavan rejektin kaatopaikkakelpoisuus tutkittiin kahdesta näytteestä, joista toinen koottiin kokoomanäytteeksi lajittelututkimuksen rejektikuormista 4, 5 ja 6. Toisen rejektinäytteen kaatopaikkakelpoisuus tutkittiin yksittäisnäytteenä rejektikuormasta 3. Näytteen liukoiset pitoisuudet määritettiin 1-vaiheisella ravistelutestillä neste-kiinteäsuhteessa (L/S) 10 l/kg standardin SFS-EN 12457-2. Vaikean näytematriisin takia 2-vaiheista ravistelutestiä ei pystytty toteuttamaan.

Lisäksi tutkittiin loppusijoitettavan rejektin orgaanisen aineksen kokonaispitoisuus TOC- ja LOI-arvona kuudesta lajittelututkimuksen rejektikuormasta. Useamman näytteen avulla haluttiin selvittää, onko orgaanisen aineksen pitoisuuksissa suuria eroja eri rejektikuormien välillä. Rejektikuormien sisältö voi vaihdella huomattavastikin. Taulukossa 6 on esitetty rejektin kaatopaikkakelpoisuustestin tulokset ja valtioneuvoston asetuksen (Vna 331/2013) tavanomaisen jätteen kaatopaikan raja-arvot haitta-aineille. Rejektin orgaanisen aineksen kokonaispitoisuudet TOC- ja LOI-arvona on esitetty taulukossa 7.



Taulukko 6. Loppusijoitettavan rejektin kaatopaikkakelpoisuustestin tulokset

	Yksikkö	Rejekti (yksittäisnäyte)	Rejekti (kokoomanäyte)	Tavanomaisen jätteen kaatopaikan raja-arvo
<b>Liukoisuusominaisuudet L/S-suhteessa 10</b>				
Arseeni (As)	mg/kg	0,08	0,12	2
Barium (B)	mg/kg	0,4	0,6	100
Kadmium (Cd)	mg/kg	< 0,003	0,0034	1
Kromi (Cr, kok.)	mg/kg	0,12	0,12	10
Kupari (Cu)	mg/kg	0,22	0,29	50
Elohopea (Hg)	mg/kg	< 0,002	< 0,002	0,2
Molybdeeni (Mo)	mg/kg	0,05	0,09	10
Nikkeli (Ni)	mg/kg	0,04	0,16	10
Lyijy (Pb)	mg/kg	< 0,01	< 0,01	10
Antimoni (Sb)	mg/kg	0,06	0,047	0,7
Seleen (Se)	mg/kg	< 0,01	0,075	0,5
Sinkki (Zn)	mg/kg	< 0,1	0,56	50
Kloridi (Cl <sup>-</sup> )	mg/kg	47	100	15 000
Fluoridi (F <sup>-</sup> )	mg/kg	31	39	150
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/kg	16 000	10 000	20 000
<b>Liuennot orgaaninen hiili (DOC)</b>	mg/kg	<b>1 200</b>	<b>2 170</b>	<b>800</b>
Liuenneiden aineiden kokonaispitoisuus (TDS)	mg/kg	19 080	27 400	60 000
Hehkutushäviö (LOI)	%	13,8	18,5	
<b>Kokonaisorgaaninen hiili (TOC) <sup>1,2</sup></b>	%	<b>7,6</b>	<b>5,9</b>	<b>5 <sup>1,2</sup></b>
pH		9,1	9,7	> 6
Haponneutralointikapasiteetti (ANC)	mmol/kg	1 430	586	tutkittava ja arvioitava

<sup>1</sup>koskee myös jätettä, joka sijoitetaan kipsipohjaisten jätteiden yhteyteen

<sup>2</sup> jätteelle voidaan sallia korkeampi arvo (10 %), jos liukoisuustestissä liuenneelle DOC-arvolle esitetty enimmäispitoisuus 800 mg/kg täyttyy

Taulukko 7. Loppusijoitettavan rejektin orgaanisen aineksen kokonaispitoisuudet

<b>Orgaaninen aines [% ka]</b>	Rejekti 1	Rejekti 2	Rejekti 3	Rejekti 4	Rejekti 5	Rejekti 6
Orgaaninen aines (TOC)	9,7	16,0	7,6	7,4	4,3	6,2
Hehkutushäviö (LOI)	14,9	28,5	13,8	18,6	13,8	24,9

ka = kuiva-aine

Tutkitut rejektinäytteet täyttävät tavanomaiselle kaatopaikalle asetetut kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot orgaanisen aineksen kokonaispitoisuutta (TOC) ja liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuutta lukuun ottamatta (ks. taulukko 6). Orgaaniselle ainekselle on lainsäädännössä asetettu 10 % raja-arvo, mutta tämä edellyttää kuitenkin liukoisen orgaanisen hiilen enimmäispitoisuuden 800 mg/kg täyttymistä.

Orgaanisen aineksen kokonaispitoisuus voidaan määrittää TOC- tai LOI-arvona ja lainsäädäntö edellyttää, että toisen tutkitun parametrin pitoisuus alittaa asetetun raja-arvon. TOC- ja LOI-arvojen välillä on huomattava ero (ks. taulukko 7), mikä voi johtua esimerkiksi hiiltä sisältävien karbonaatti-yhdisteiden haihtumisesta LOI-määrittämisessä. Myös eri rejektikuormien välillä oli huomattavia eroja TOC-arvoissa. Rejektin 5 TOC-arvo oli 4,3 %, mutta rejektin 2 jopa 16 %. Rejektikuormien ominaisuudet vaihtelevat riippuen kuormaan päätyvistä materiaali-jakeista.

### 5.3.3 Polttokelpoisen jätteen ja rejektin hienoaines

Lajittelututkimuksessa lajittelujäännöksenä jäi hienoaines, joka on partikkelikooltaan alle 50 mm ainesta. Käytettäessä hienoainesta kaatopaikan loppusijoitusalueella peitemaana tulee hienoaineksen täyttää samat kaatopaikkakelpoisuuden vaatimukset kuin loppusijoitettavan rejektin. Polttokelpoisen jätteen ja rejektin hienoaineksen kaatopaikkakelpoisuus tutkittiin lajittelututkimuksen otoksista 4, 5 ja 6 tehtyjen kokoomanäytteiden perusteella. Hienoainesten kaatopaikkakelpoisuustestin tulokset on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Hienoainesten kaatopaikkakelpoisuustestin tulokset

	Yksikkö	Polttokelpoisen jätteen hienoaines (kokoomanäyte)	Rejektin hienoaines (kokoomanäyte)	Tavanomaisen jätteen kaatopaikan raja-arvo
<b>Liukoisuusominaisuudet L/S-suhteessa 10</b>				
Arseeni (As)	mg/kg	0,028	0,023	2
Barium (B)	mg/kg	0,45	0,38	100
Kadmium (Cd)	mg/kg	< 0,003	< 0,003	1
Kromi (Cr, kok.)	mg/kg	0,047	0,046	10
Kupari (Cu)	mg/kg	2,1	0,33	50
Elohopea (Hg)	mg/kg	< 0,002	< 0,002	0,2
Molybdeeni (Mo)	mg/kg	0,2	0,1	10
Nikkeli (Ni)	mg/kg	0,49	0,16	10
Lyijy (Pb)	mg/kg	0,011	< 0,01	10
Antimoni (Sb)	mg/kg	0,026	0,015	0,7
Seleen (Se)	mg/kg	0,037	0,07	0,5
Sinkki (Zn)	mg/kg	< 0,1	< 0,1	50
Kloridi (Cl <sup>-</sup> )	mg/kg	1 500	120	15 000
Fluoridi (F <sup>-</sup> )	mg/kg	< 2	33	150
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/kg	16 000	17 000	20 000
<b>Liuennot orgaaninen hiili (DOC)</b>	mg/kg	<b>1 670</b>	824	<b>800</b>
Liuenneiden aineiden kokonaispitoisuus (TDS)	mg/kg	27 300	24 200	60 000
Hehkutushäviö (LOI)	%	14,7	15,6	
<b>Kokonaisorgaaninen hiili (TOC)</b>	%	<b>7,1</b>	3,8	<b>5<sup>1,2</sup></b>
pH		9,1	8,8	> 6
Haponneutralointikapasiteetti (ANC)	mmol/kg	463	359	tutkittava ja arvioitava

<sup>1</sup>koskee myös jätettä, joka sijoitetaan kipsipohjaisten jätteiden yhteyteen

<sup>2</sup>jätteelle voidaan sallia korkeampi arvo (10 %), jos liukoisuustestissä liuenneelle DOC-arvolle esitetty enimmäispitoisuus 800 mg/kg täyttyy

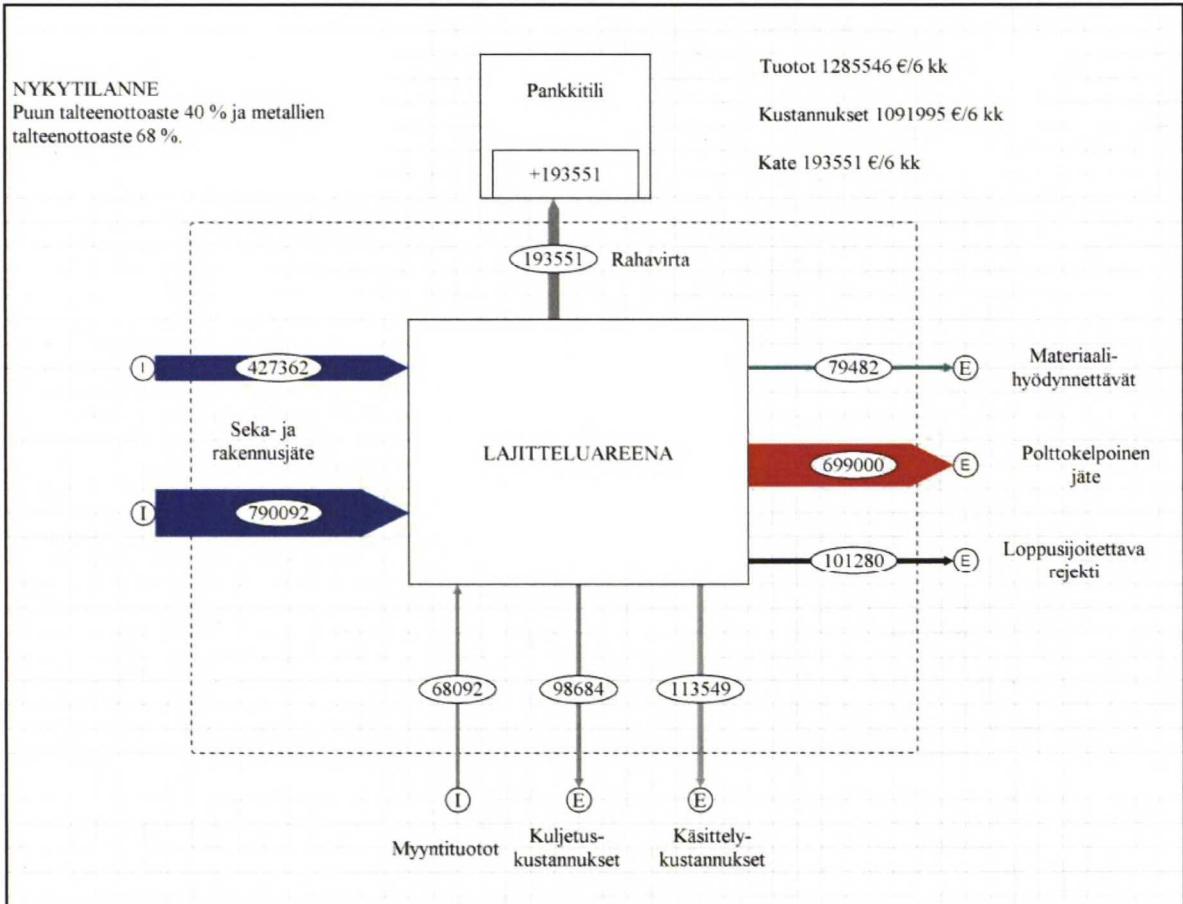


Loppusijoitettavan rejektin hienoaines täyttää tavanomaiselle kaatopaikalle asetetut kaatopaikkakelpoisuuden vaatimukset, mutta polttokelpoisen jätteen hienoaineksen liuennut orgaaninen hiili (DOC) ja orgaanisen aineksen kokonaispitoisuus (TOC) ylittävät asetetut tavanomaisen jätteen kaatopaikalle asetetut raja-arvot. Rejektin hienoainesta voitaisiin seulonnan jälkeen käyttää loppusijoitusalueen peitemateriaalina.

#### **5.4 Jätteenkäsittelytoiminnan taloudellinen tarkastelu**

Lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan taloudellinen tarkastelu tehtiin materiaalivirta-analyysillä, jossa vertailtiin jätteenkäsittelytoiminnan kustannuksia ja tuottoja kolmessa eri vaihtoehdossa. Jätteenkäsittelytoiminnan tuotot koostuvat asiakkailta perittävistä jätemaksuista seka- ja rakennusjätteestä sekä materiaalien myyntituotoista. Kustannukset koostuvat materiaalien talteenotosta, jätteenpoltosta ja loppusijoituksesta sekä jätejakeiden käsittelystä ja kuljetuksesta.

Materiaalien myyntituotot ovat materiaalihyödyntämiseen toimitettujen puujätteiden, metallien ja pahvin myynnistä saatavia tuottoja. Kipsilevyn toimittamisesta hyötykäyttöön joudutaan kuitenkin maksamaan vastaanottomaksu, jolloin kipsilevyjen hyödyntämisestä saatavat tuotot ovat negatiivisia. Kuljetuskustannukset koostuvat materiaalien, polttokelpoisen jätteen ja rejektin kuljetuskustannuksista hyötykäyttöön tai loppusijoitusalueelle. Käsittelykustannukset ovat puun haketuksesta ja polttokelpoisen jätteen murskauksesta sekä pahvin paalauksesta aiheutuvat kustannukset. Jätteenkäsittelytoiminnan taloudellisessa tarkastelussa pankkitilille ohjautuva rahavirta on lajitteluareenan myyntikate. Kuvassa 25 on esitetty jätteenkäsittelytoiminnan tuotot ja kustannukset tutkimusaikana toteutuneessa tilanteessa ja tarkemmat tiedot kustannuslaskelmista liitteen 2 taulukossa 11.

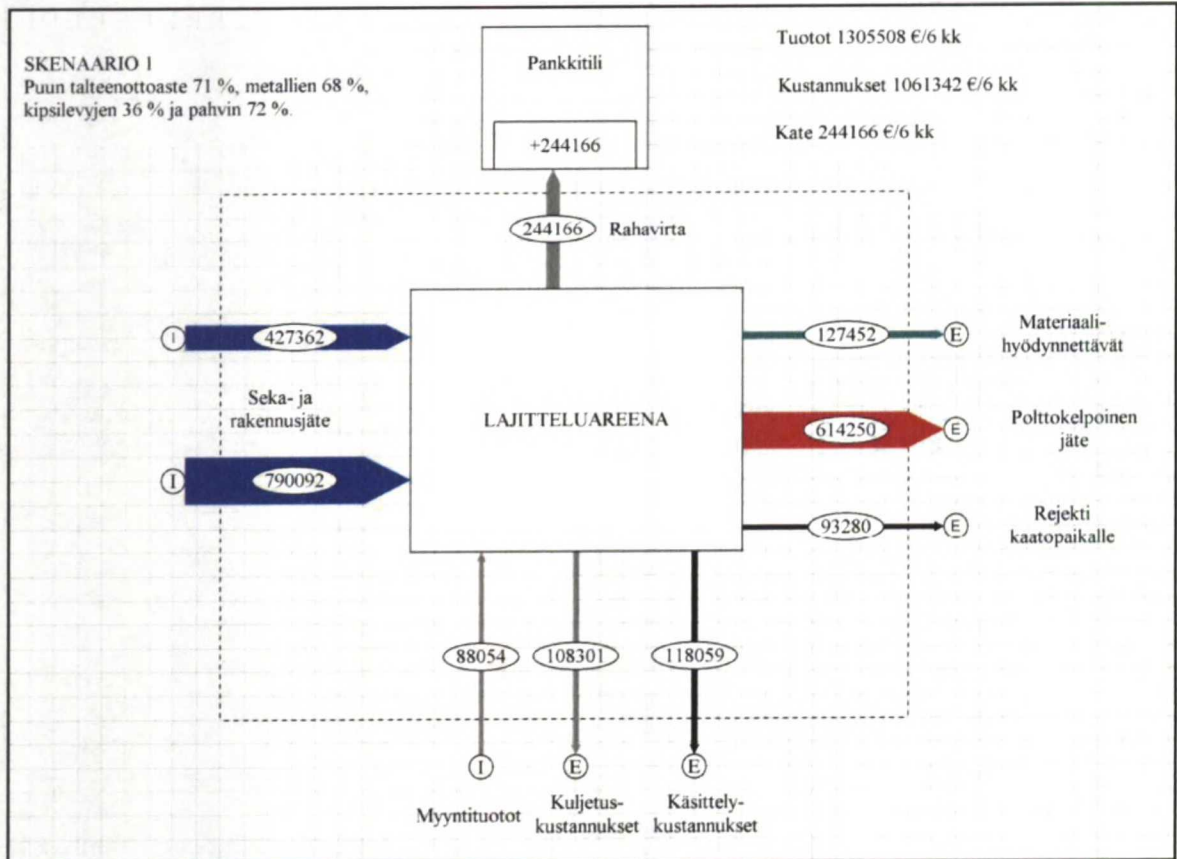


Kuva 25. Lajitteluareenan tuotot ja kustannukset tutkimusaikana toteutuneessa tilanteessa (rahavirrat €/6 kk)

Nykytilanteessa jätemaksuista saatavat tuotot ovat yhteensä noin 1,2 miljoonaa euroa ja yhteenlasketut kustannukset noin 1,1 miljoonaa euroa. Jätteenkäsittelytoiminnan kustannukset saadaan siis kokonaan katettua jätemaksuista saatavilla tuotoilla. Materiaalien myyntituotoilla saadaan lisätuottoja, mikä nostaa lajitteluareenan kokonaistuotot melkein 1,3 miljoonaan euroon. Lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan suurimmat kustannukset aiheutuvat jätteenpoltosta.

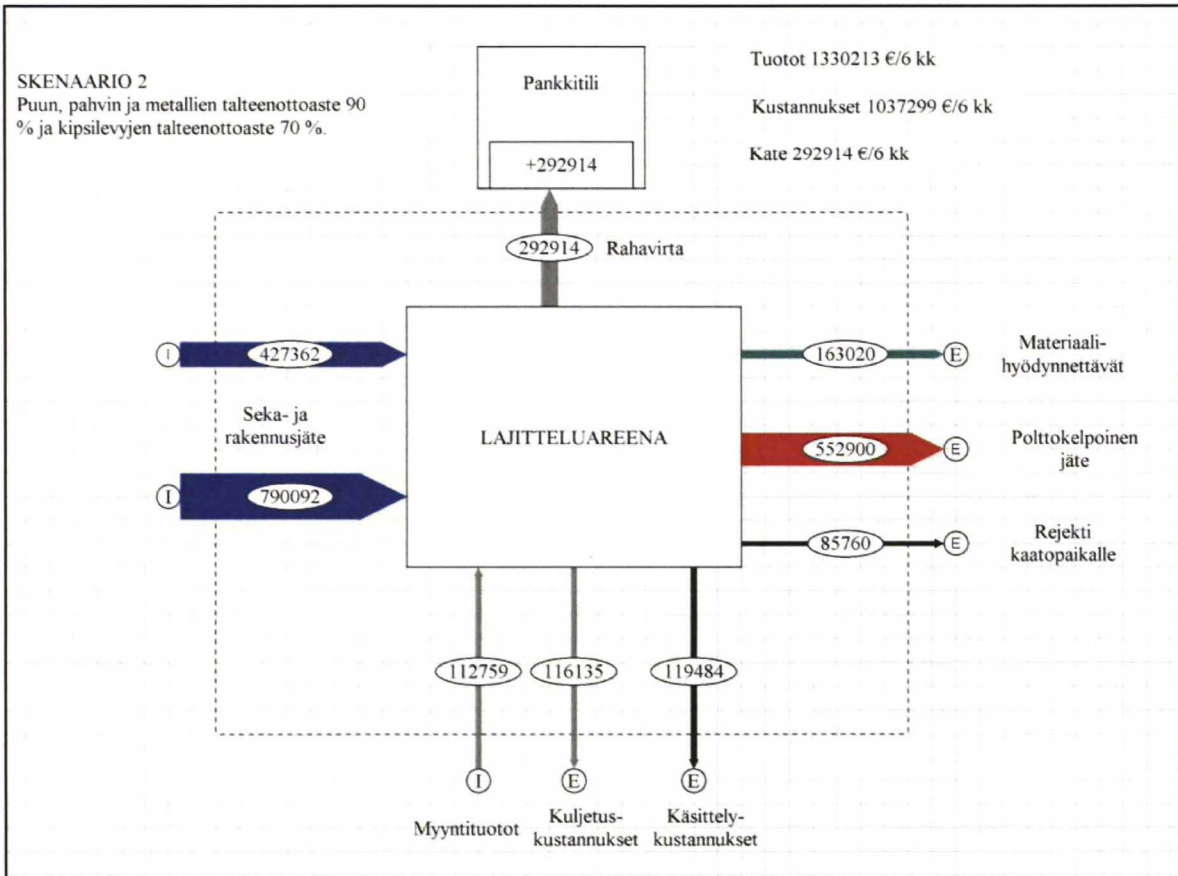
Skenaarioissa 1 ja 2 tutkittiin vaihtoehtoja, joissa materiaalien talteenottoasteita kasvatettiin. Samalla kasvoivat materiaalien talteenoton sekä jätejakeiden käsittely- ja kuljetuskustannukset. Toisaalta skenaarioissa 1 ja 2 materiaaleista saadaan enemmän myyntituottoja, kun materiaalien talteenottoa tehostetaan. Kuvissa 26 ja 27 on esitetty

skenaarioiden 1 ja 2 jätteenkäsittelytoiminnan tuotot ja kustannukset. Liitteessä 2 taulukoissa 12 ja 13 on tarkemmat tiedot kustannuslaskelmista.



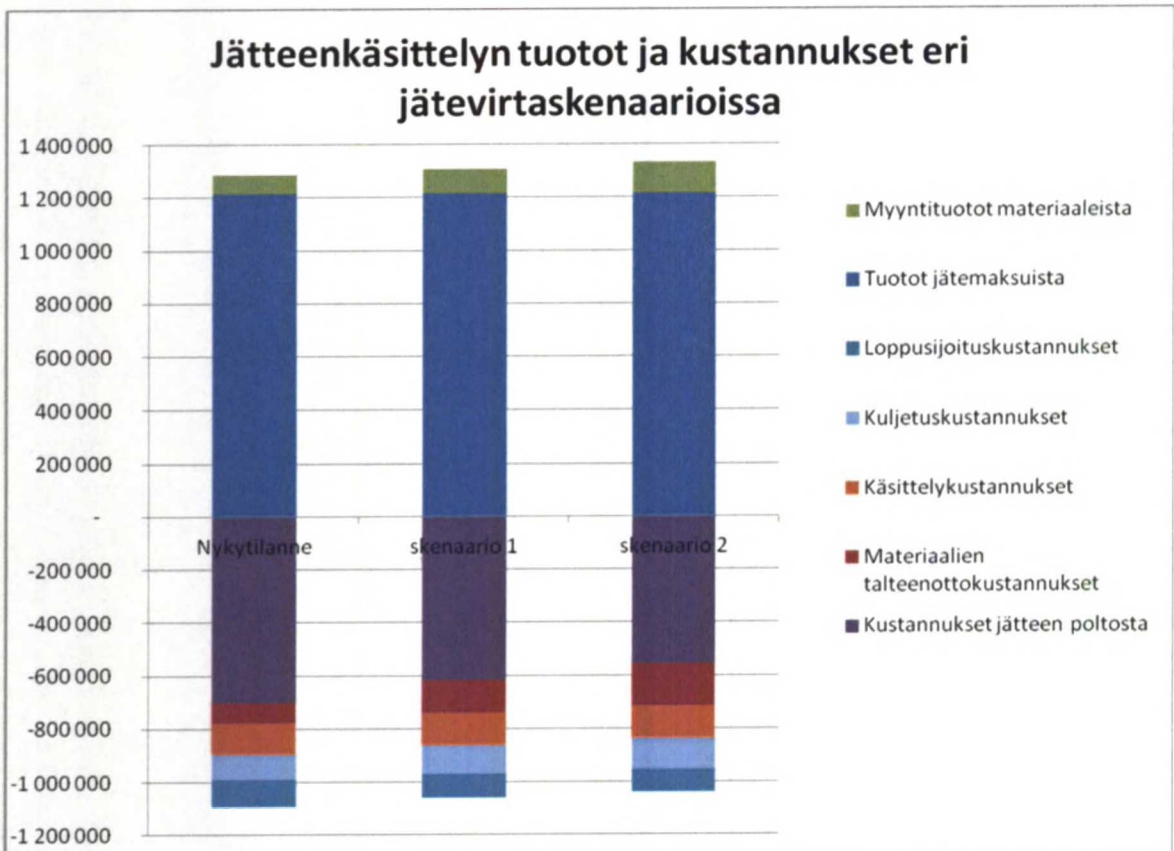
Kuva 26. Lajitteluareenan kustannukset skenaariossa 1 (rahavirrat €/6 kk)





Kuva 27. Lajitteluareenan kustannukset skenaariossa 2 (rahavirrat €/6 kk)

Toteutuneeseen nykytilanteeseen verrattuna jätteenpolton kustannuksia voidaan vähentää noin 85 000 € skenaariossa 1 ja jopa 146 000 € skenaariossa 2, kun materiaalien talteenottoa tehostetaan. Kipsilevyjä lukuun ottamatta talteenotettavat materiaalit poistuvat polttokelpoisen jätteen joukosta. Materiaalien myyntituotot kasvavat skenaariossa 1 noin 20 000 € ja skenaariossa 2 noin 45 000 €. Yhteenlasketut kustannukset jätteenkäsittelystä vähenevät skenaariossa 1 noin 32 000 € ja skenaariossa 2 noin 55 000 €. Lajitteluareenan myyntikatetta voidaan siis kasvattaa merkittävästi tehostetulla materiaalien talteenotolla. Loppusijoituskustannuksiin ei tule merkittävää muutosta, koska rejektin määrä on kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa suurin piirtein sama. Kuvassa 28 on esitetty vertailu tutkittujen jätevirtaskenaarioiden tuotoista ja kustannuksista.



Kuva 28. Lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan tuottojen ja kustannusten vertailu tutkituissa jätevirtaskenaarioissa

Taloudellisen tarkastelun perusteella kaikissa vaihtoehdoissa jätteenkäsittelytoiminnan tuotot ovat noin 200 000-300 000 euroa suuremmat kuin kustannukset materiaalien talteenotosta, jätteenpoltosta ja loppusijoituksesta sekä jätteiden käsittelystä ja kuljetuksista. Jätteenkäsittelytoiminnan suurimmat kustannukset aiheutuvat kaikissa vaihtoehdoissa jätteenpoltosta, koska polttokelpoisesta jätteestä maksetaan ns. porttimaksu jätteenpolttajalle. Jätteenpoltosta aiheutuvia kustannuksia voidaan kuitenkin vähentää tehostamalla jätteen materiaalihyötykäyttöä. Tämän tarkastelun perusteella taloudellisesti kannattavinta on nostaa materiaalien talteenottoaste mahdollisimman korkeaksi. Materiaalien talteenottoasteen kasvattaminen kuitenkin edellyttää tehokkaampien lajittelumenetelmien käyttöönottoa, mikä puolestaan voi kasvattaa materiaalien talteenoton kustannuksia.

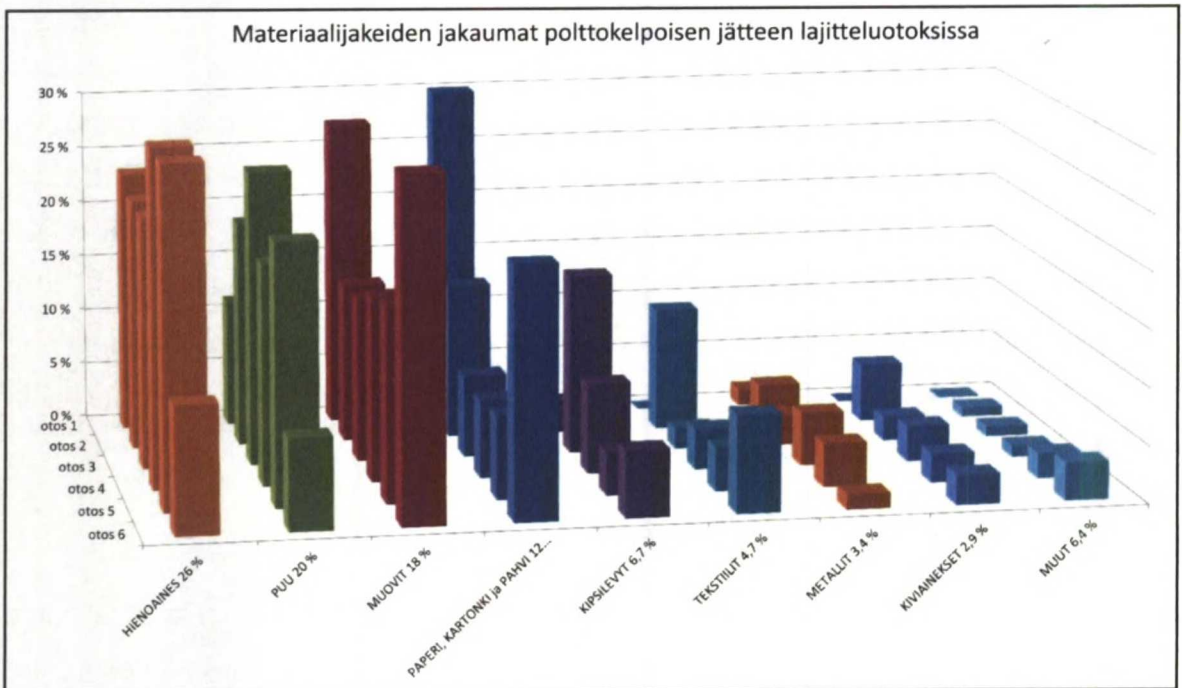
## 6 TULOSTEN ANALYSOINTI JA POHDINTA

Diplomityön tutkimuskohteena oli seka- ja rakennusjätettä käsittelevän lajitteluareenan toiminta. Lajitteluareenan lopputuotteita ovat materiaalihyötykäyttöön toimitettavat jakeet ja polttokelpoinen jäte. Jätteenkäsittelyssä muodostuu rejektiä, joka loppusijoitetaan kaatopaikalle. Lajitteluareenan jätevirtoja seurattiin noin kuuden kuukauden ajan vuoden 2012 lokakuun lopusta vuoden 2013 huhtikuuhun. Tutkimus ajoittui ajankohtaan, jolloin lajitteluareenalla vastaanotettava jätemäärä on yleensä huomattavasti pienempi kuin jätekeskuksen kiireisimpään aikaan touko-lokakuussa.

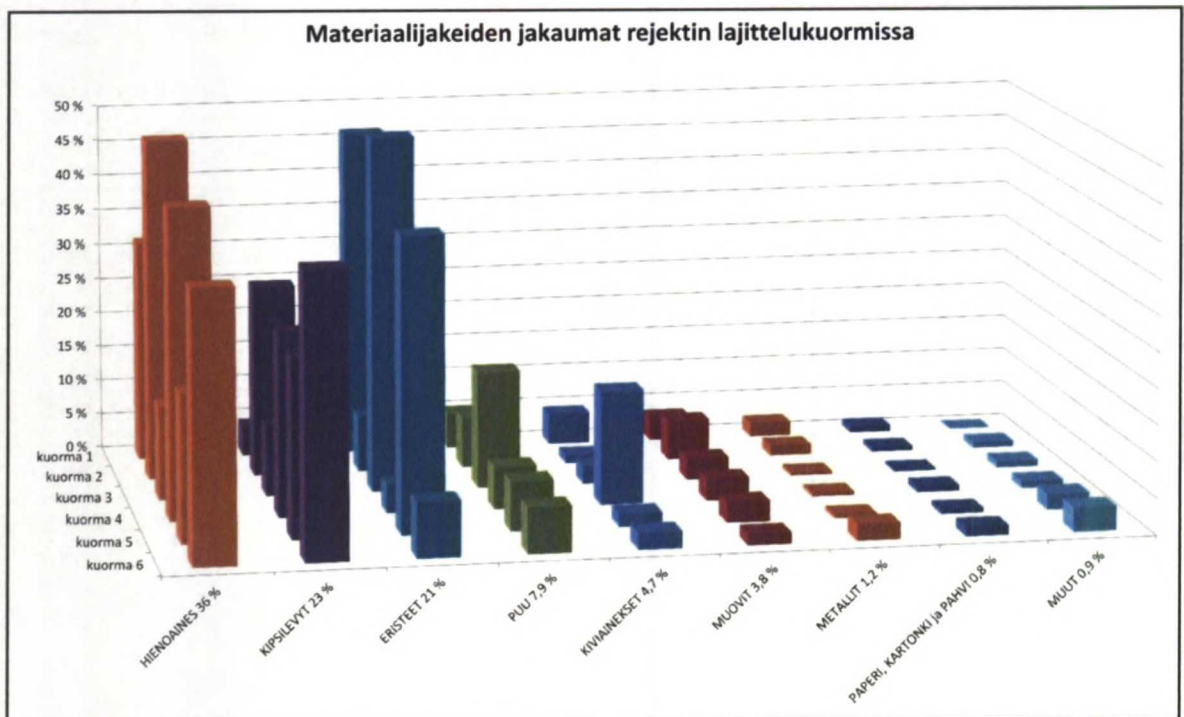
### 6.1 Lajittelututkimukset ja käsitellyn jätteen koostumus

Lajittelututkimuksella saadaan erittäin tarkkaa tietoa jätteen koostumuksesta, mutta tutkimusmenetelmänä se on aikaa vievä. Yleensä lajittelututkimuksia on tehty jätekeskuksissa vastaanotetuista jätekuormista. Tässä diplomityössä tutkittiin lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan lopputuotteiden koostumusta kuudesta polttokelpoisen jätteen otoksesta ja kuudesta loppusijoitettavasta rejektikuormasta lajittelututkimuksella. Kuuden otoksen perusteella saatiin varsin kuvaava otanta lajiteltujen jättejakeiden koostumuksesta, vaikka eri otoksien välillä materiaaliwakeiden määrät vaihtelivat huomattavasti. Esimerkiksi polttokelpoisen jätteen otoksissa puun määrä vaihteli 8-26 %:iin ja muovin määrä 14-32 %:iin. Loppusijoitettavissa rejektikuormissa eristevillojen määrä vaihteli 4-52 %:iin ja kipsilevyjen määrä 4-40 %:iin. Kuvissa 29 ja 30 on esitetty polttokelpoisen jätteen ja rejektin materiaaliwakeiden jakaumat ja keskimääräiset prosenttiosuudet lajitteluissa otoksissa tai kuormissa.





Kuva 29. Polttokelpoisen jätteen materiaali-jakeiden jakaumat eri otoksissa (muut: tekstiilit, lasi, bitumilevyt, SER-jäte, vaaralliset jätteet, biojäte ja kumi)



Kuva 30. Rejektin materiaali-jakeiden jakaumat eri rejektikuormissa (muut: tekstiilit, lasi, bitumilevyt, SER-jäte, vaaralliset jätteet, biojäte ja kumi)

Lajittelututkimuksella pyrittiin myös selvittämään PVC-muovin, kierrätyskelpoisen pahvin ja käsittelemättömän puun ja kipsilevyn osuudet polttokelpoisessa jätteessä ja loppusijoitettavassa rejektissä. Lajittelututkimuksen tulokset ovat kuitenkin näiden materiaali-jakeiden osalta vain suuntaa antavia, koska nämä materiaali-jakeet lajiteltiin erikseen vain kolmesta otoksesta. Materiaali-jakeiden määrissä oli lisäksi hyvin suuria eroja eri otosten välillä. Esimerkiksi polttokelpoisessa jätteessä kierrätyskelpoisen pahvin määrä vaihteli 7-65 %:iin kuitupohjaisten jätteiden kokonaismäärästä. PVC-muovia ei ollut rejektikuormassa 6 ollenkaan, mutta kuormassa 4 jopa 77 % muovin kokonaismäärästä. PVC-muovin lajittelua vaikeutti muovien tunnistaminen, koska kaikissa muoveissa ei ollut merkintää muovilaadusta. Lajittelututkimusten perusteella arvioidussa käsitellyn jätteen koostumuksessa ei ole eritelty PVC-muovin, kierrätyskelpoisen pahvin ja käsittelemättömän puun ja kipsilevyjen määriä, koska lajittelututkimuksen tulokset näiden materiaali-jakeiden osalta vaihtelevat huomattavasti.

Lajittelututkimusten ja lajitteluareenalla talteenotettujen materiaali-jakeiden perusteella arvioitiin laskennallisesti lajitteluareenalla vastaanotettavan jätteen koostumus. Lajitteluareenalla vastaanotettavan jätteen koostumusta on vaikea verrata muissa jätekeskuksissa tehtyihin lajittelututkimuksiin, koska eri tutkimuksissa lajitellut materiaali-jakeet voivat vaihdella. Tuloksissa havaitaan kuitenkin suurta yhtäläisyyttä Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy:n tekemän lajittelututkimukseen kaatopaikka- ja rakennusjätekuormista. Vanhalan (2010) tutkimuksessa lajiteltiin yhteensä 12 lavakuormaa kuten Oulun Jätehuollon lajitteluareenan lajittelututkimuksessakin. Molemmissa lajittelututkimuksissa suurimmat materiaali-jakeet olivat puu- ja muovijätteet sekä kuitupohjaiset jätteet ja metallit (taulukko 9). Jätekeskuksiin ohjautuvissa jätekuormissa on paljon hyötykäyttöön kelpaavaa materiaalia, joten jätteen laitospäinen käsittely on välttämätöntä kansallisen lainsäädännön asettamien materiaalihyötykäyttötavoitteiden saavuttamiseksi ja orgaanisen aineksen saamiseksi pois loppusijoitettavasta jätteestä.

Taulukko 9. Vastaanotettavan jätteen koostumuksen vertailu Oulun ja Päijät-Hämeen Jätehuollon lajittelulaitosten välillä

	Lajitteluareena Oulun Jätehuolto [%]	Lajittelutermiinali Päijät-Hämeen Jätehuolto (muokattu Vanhala 2010) [%]
Puujätteet	24	21,3
Muovit	14	15,6 *
Paperi, kartonki ja pahvi	8,8	5,1
Metallit	7,4	5,4
Kipsilevyt	7,3	6,7
Kiviainekset	4,1	8,3
Tekstiilit	3,6	5,3
Eristevillat	3,2	3,5 **
Muut	2,6	13,4
Biojäte	1,0	1,2
SER-jäte	0,2	0,5
Renkaat	0,04	0
Vaaralliset jätteet	0,02	0,6
Hienoaines	23	13
YHTEENSÄ	99,3	99,9

muut: isot kappaleet, lasi, kumi

\*sisältää PVC-muovin ja energiajätteen

\*\*loppusijoitettava kaatopaikkajäte

## 6.2 Tutkittujen lopputuotteiden ominaisuudet ja näytteenotto

Lajitteluareenan lopputuotteiden ominaisuuksia tutkittiin laboratorioanalyysillä polttokelpoisesta jätteestä ja loppusijoitettavasta rejektistä sekä näiden jakeiden lajittelututkimuksen lajittelujäännöksestä eli hienoaineksesta. Laboratorionäytteitä varten



näytteenotto suoritettiin standardien SFS-EN 14899 ja CEN/TR 153102-2 mukaisesti. Loppusijoitettavalle rejektille käytettiin harkinnanvaraista otantaa ja polttokelpoisen jätteen sekä hienoainesten näytteenottoon satunnaisotantaa. Harkinnanvarainen otanta valittiin rejektille, koska jätemateriaali on hyvin homogeenistä materiaalia, jolla on suuri partikkelikoko. Rejektinäytteiden esikäsittely tehtiin laboratoriossa, jossa näytteet murskattiin pienempään palakokoon leikkurimurskaimella. Rejektin näytteenottoa helpottaisi jatkossa, jos näyte voitaisiin murskata pienempään palakokoon ilman lajittelua. Tällöin voitaisiin myös kerätä kokoomanäyte pidemmällä aikavälillä ja saataisiin mahdollisesti edustavampi näyte loppusijoitettavasta rejektistä. Polttokelpoinen jäte ja hienoaines puolestaan ovat heterogeenistä partikkelikooltaan pienempää materiaalia, joten näytteenotto näistä jakeista pystyttiin toteuttamaan käyttäen satunnaisotantaa.

### **6.2.1 Polttokelpoinen jäte**

Kierrätyspolttoaineiden luokituskriteerit on määritetty standardissa SFS-EN 15359, jonka mukaan laatuluokitus määritetään 10 mittauksen keskiarvona. Tässä diplomityössä tutkittiin polttokelpoisen jätteen laatu yhden näytteen perusteella, joten polttoaineluokituksen varmistamiseksi näytteenotto ja kierrätyspolttoaineanalyysi tulisi tehdä pidemmällä aikavälillä useammasta näytteestä. Kierrätyspolttoaineanalyysin perusteella voidaan todeta, että laadultaan paremman kierrätyspolttoaineen valmistaminen edellyttäisi klooria sisältävän PVC-muovin poistoa jätevirrasta, koska kloorin osalta polttoaine sijoittui alimpaan laatuluokkaan 5. Tehollisen lämpöarvon mukaan polttoaine kuuluu luokkaan 4 ja elohopeapitoisuuden mukaan luokkaan 3. Lämpöarvon nostamiseksi polttokelpoisen jätteen prosessointiin tulisi investoida kehittyneempiä käsittelymenetelmiä ja esimerkiksi seulomalla poistaa polttokelpoisesta jätteestä hienoaines. Arinapolttoon hyödyntävälle jätteenpolttolaitokselle polttoaine on lämpöarvoltaan kuitenkin sopivaa, koska vaatimus jätteen lämpöarvolle on polttolaitoksella 8-15 MJ/kg (Kangasniemi 2013).

### **6.2.2 Loppusijoitettava rejekti**

Loppusijoitettavan rejektin kaatopaikkakelpoisuustestin tulokset eivät merkittävästi poikkea yksittäisnäytteen ja kokoomanäytteen välillä. Sen sijaan TOC-arvot vaihtelevat merkittävästi kuuden tutkitun näytteen osalta (ks. taulukko 7), mikä johtuu rejektikuormien erilaisesta materiaalisäällöstä. Valtioneuvoston asetuksessa kaatopaikoista (Vna 331/2013)

kokonaisorgaanisen hiilen raja-arvoksi on määritelty 10 % TOC- tai LOI-arvona mitattuna. Raja-arvo edellyttää kuitenkin, että myös liuenneen orgaanisen hiilen raja-arvo 800 mg/kg täyttyy. Vaikka kokonaisorgaanisen hiilen raja-arvo täyttyykin molemmissa tutkituissa rejektinäytteissä, ylittää liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuus kuitenkin määritellyn raja-arvon. DOC-arvo osoittaa, että jätteen sisältämä orgaaninen aines on hyvin reaktiivista. TOC- ja LOI-arvot ylittävät kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot, koska loppusijoitettava rejekti sisältää orgaanista materiaalia, kuten puuta ja muovia.

Lajittelututkimuksen perusteella loppusijoitettavan rejektin orgaanista ainesta sisältäviä määrältään suurimpia materiaali-jakeita ovat puujätteet (7,9 %) ja muovijätteet (3,8 %). Orgaanista ainesta sisältävät myös muun muassa kuitupohjaiset jätteet, kuten paperi, kartonki ja pahvi, sekä tekstiilit. VTT:n (Wahlström et al. 2012) tekemän tutkimuksen mukaan esimerkiksi puun biohajoavuus DOC-arvona ilmaistuna on 5 300 mg/kg ja TOC-arvona 48 % (ks. taulukko 10). Puun, kuitupohjaisten materiaalien ja tekstiilien biohajoavuus on tutkimuksen perusteella merkittävä, joten näiden lajittelu pois loppusijoitettavasta rejektistä parantaisi rejektin laatua orgaanisen ja liuenneen orgaanisen aineksen osalta huomattavasti.

Taulukko 10. Eri biohajoavuuden määritysmenetelmillä saatuja tuloksia erilaisille jätelajikkeille (muokattu Wahlström et al. 2012)

MATERIAALI	DOC [mg/kg]	TOC [%]
Puu	5 300	48
Muovipussi	125	81
Kartonki	9 700	45
Tekstiili	800	44

Loppusijoitettavan rejektin käsittelyä tulisi tehostaa orgaanista ainesta sisältävien materiaali-jakeiden poistamiseksi, jotta lainsäädännön vaatimukset orgaanisen aineksen pitoisuuksista täyttyisivät ja jätteen loppusijoittaminen olisi turvallista.



### 6.2.3 Polttokelpoisen jätteen ja loppusijoitettavan rejektin hienoaines

Hienoaineksen määrä on merkittävä molemmissa lajitelluissa jätejakeissa, polttokelpoisessa jätteessä (26 %) ja rejektissä (36 %). Hienoainesta voidaan hyödyntää jäteverottomana kaatopaikan peitemateriaalina, jos hienoaines täyttää kaatopaikkakelpoisuuden vaatimukset valtioneuvoston asetuksen kaatopaikoista (Vna 331/2013) mukaisesti. Tutkituista näytteistä rejektin hienoaines täyttää kaatopaikkakelpoisuudelle asetetut vaatimukset, mutta polttokelpoisen jätteen hienoaineksen orgaanisen aineksen ja liuenneen orgaanisen aineksen pitoisuudet ylittävät raja-arvot. Rejektin hienoaines on mahdollista seuloa ja hyödyntää loppusijoitusalueen peitemateriaalina. Tällöin myös rejektin loppusijoituskustannuksia voitaisiin vähentää. Toisaalta käsittelykustannukset rejektin seulonnasta tulee arvioida ja huomioida kustannuksia tarkasteltaessa ja päätöksiä tehtäessä.

### 6.3 Jätteenkäsittelytoiminnan taloudellinen tarkastelu ja materiaalivirta-analyysi

Lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan taloudellinen tarkastelu tehtiin materiaalivirta-analyysiin tarkoitetulla STAN-ohjelmistolla, johon mallinnettiin lajitteluareenan systeemikuvaus ja jätevirrat. Wienin yliopiston kehittämä ilmaisohjelma materiaalivirta-analyysiin on hyvä työkalu erilaisten systeemien materiaalivirtojen tarkastelussa, koska systeemistä ja sen materiaalivirroista piirretään graafinen malli. Malli helpottaa systeemin hahmottamista ja materiaalivirtojen laskenta- ja tasapainotusvaiheessa havaitaan puuttuvat tiedot. Tässä diplomityössä systeemin malli pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisena, joten kustannusten laskemiseen hyödynnettiin myös Excel-laskentataulukko-ohjelmaa kuljetus- ja käsittelykustannuksille sekä materiaaleista saataville tuotoille.

Taloudellisissa laskelmissa on olennaista kartoittaa jätteenkäsittelyn kokonaiskustannukset ja käsittelykustannukset eri jätejakeille, jotta saataisiin selville mihin suuntaan jätteenkäsittelyä tulisi kehittää (Knuutila et al. 2008). Diplomityössä pyrittiin taloudellisilla laskelmilla selvittämään, onko jätteenkäsittelijälle taloudellisesti edullisempaa ottaa talteen hyödynnettäviä materiaaleja jätevirrasta vai prosessoida jäte toimitettavaksi yhdyskuntajätteen polttolaitokselle. Taloudelliset laskelmat perustuvat kirjallisuudesta koottuihin kustannustietoihin jätteenkäsittelyn kustannuksista ja materiaaleista saatavista tuotoista.



Taloudellisen tarkastelun perusteella kaikki lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan kustannukset saadaan katettua asiakkailta perittävillä jätemaksuilla. Materiaalien myynnillä saadaan lisätuloja. Kokkosen (2004) mukaan kierrätysliiketoiminnassa jätemaksuilla tulisi kattaa noin 60-70 % liikevaihdosta ja materiaalien myyntitulot tulisi olla noin 30-40 % liikevaihdosta. Diplomityössä kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa materiaaleista saatavat myyntituotot ovat alle 10 % lajitteluareenan kokonaistuotoista, jotka koostuvat jätemaksuista ja materiaalien myyntituotoista.

Taloudellisessa tarkastelussa materiaalien talteenottokustannukset on arvioitu olevan 39 €/t ja jätteenpoltonkustannukset 75 €/t sisältäen jätteen mahdollisen prosessoinnin ja niin sanotun porttimaksun jätteenpolttolaitokselle. Loppusijoituskustannukset on arvioitu olevan 80 €/t sisältäen jäteveron. Materiaalien talteenottokustannuksen hinta jätetonnia kohti on ulkomaisesta kirjallisuudesta, joten todellisuudessa talteenottokustannus voi olla hieman korkeampi. Vaikka materiaalien talteenottokustannus olisi 60 €/t, olisi materiaalien talteenotto edelleen taloudellisesti kannattavaa. Materiaalien talteenoton kannattavuuteen vaikuttaa se, että polttokelpoisen jätteen määrä on suhteessa talteenotettaviin materiaalien määrään huomattavasti suurempi ja näin jätteenkäsittelytoiminnan suurimmat kustannukset aiheutuvat nimenomaan polttolaitokselle toimitettavasta polttokelpoisesta jätteestä.

Jätteenpolton kustannusten vähentämiseksi voitaisiin polttokelpoisesta jätteestä vaihtoehtoisesti prosessoida hyvälaatuista SRF-kierrätyspolttoainetta. SRF-kierrätyspolttoaineen prosessointikustannukset sekajätteestä ovat noin 36 €/t laitoksen kapasiteetin ollessa 50 000 t/a (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010; Myllymaa et al. 2008). Jätteestä valmistetuilla SRF-kierrätyspolttoaineilla voi myös olla positiivinen taloudellinen arvo, jolla voidaan kattaa polttoaineen kuljetuksesta aiheutuvat kustannukset (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010). Näiden tietojen perusteella SRF-kierrätyspolttoaineen prosessointiedellytysten selvitys olisi olennaista lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan kehittämisessä. Ilman tarkempia laskelmia ei voida kuitenkaan tehdä lopullisia johtopäätöksiä. Lajittelututkimuksen ja kierrätyspolttoaineanalyysin perusteella SRF-kierrätyspolttoainetta olisi kuitenkin mahdollista prosessoida lajitteluareenalla vastaanotettavasta jätteestä.

Taloudellisessa tarkastelussa kannattavimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui skenaario 2, jossa materiaalien talteenottoasteet ovat puulle, pahville ja metallille 90 % sekä kipsilevyille 70 %. Käytännössä näin korkeisiin talteenottoasteisiin on vaikea päästä, vaikka jätteenkäsittelyä tehostettaisiin uusilla ja kehittyneemmillä lajittelu- ja erottelumenetelmillä. Tutkimustulokset kuitenkin osoittavat, että materiaalina hyödynnettävien jakeiden talteenottoasteiden nostaminen mahdollisimman korkeaksi on taloudellisesti kannattavaa. Puun, metallien, kiviainesten ja pahvin talteenoton tehostamisen lisäksi lajitteluareenalla olisi mahdollista aloittaa kipsilevyjätteen talteenotto, mikä kasvattaisi materiaaleista saatavia myyntituottoja ja alentaisi jätteenkäsittelytoiminnan kustannuksia kokonaisuudessaan. Materiaalien talteenotolla voitaisiin vähentää myös jätteiden loppusijoituksesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimusaikana lajitteluareenalla vastaanotetusta seka- ja rakennusjätteestä materiaalihyödyntämiseen ohjautui 16 % ja energiahyödyntämiseen 74 % vastaanotetun jätteen määrästä. Lajitteluareenalta loppusijoitettavaksi päättyi 10 % vastaanotetun jätteen määrästä. Vuositasolla tämä tarkoittaisi vain noin 3 000 tonnia loppusijoitettavan jätteen määräksi Ruskon jätekeskuksessa. Vuonna 2011 Ruskon jätekeskukseen ohjautui 100 000 tonnia seka- ja rakennusjätettä, josta suurin osa loppusijoitettiin kaatopaikalle. Jätteen laitospöytäkäsitteillä voidaan vaikuttaa kaatopaikalle ohjautuvan jätteen määrään ja koostumukseen. Jätteen kaatopaikkasijoituksen vähentyessä vähenevät myös ympäristöhaitat, kuten orgaanisen aineksen hajotessa muodostuvat metaanipäästöt ilmakehään ja kaatopaikan suotovesien aiheuttamat haitat vesistöille. Materiaalien kierrätyksellä säästetään lisäksi arvokkaita luonnonvaroja tai jätteen energiasisältö voidaan hyödyntää.

Lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan lopputuotteiden koostumuksen tutkimustulokset osoittivat, että jo nykyisillä jätteenkäsittelymenetelmillä jätteiden lajittelu on suhteellisen tehokasta. Materiaalien talteenottoasteet tutkimusaikana olivat metalleille 68 %, puujätteille 40 % ja kiviaineksille 37 %. Pahvin talteenottoaste jäi 1 %:iin, koska tutkimusaikana pahvia



talteenotettiin alle kuukauden ajan. Talteenottoasteet perustuvat laskennalliseen arvioon vastaanotetun jätteen koostumuksesta.

Lajitteluareenalla olisi mahdollista tehostaa materiaalien talteenottoa, koska lajittelututkimusten perusteella polttokelpoisessa jätteessä ja rejektissä on materiaalina hyödyntämiskelpoista jätettä. Metallien, puujätteiden ja pahvin talteenoton tehostamisen lisäksi lajitteluareenalla olisi mahdollista ottaa talteen kipsilevyjätettä. Käsittelemätöntä kipsilevyä voidaan hyödyntää uusioraaka-aineena kipsilevytehtaalla, mutta kipsilevyn paperipinta ei saa olla maalattu tai muutoin pinnoitettu.

Materiaalien talteenotto on lajitteluareenalla myös taloudellisten laskelmien perusteella kannattavaa, koska lajitteluareenan jätteenkäsittelyn suurimmat kustannukset muodostuvat jätteenpoltosta. Materiaalien talteenottoasteen kasvaessa jätteenkäsittelyn kokonaiskustannukset vähenevät, koska kierrätysmateriaaleista saadaan lisätuloja ja jätteenpolton kustannukset laskevat. Taloudelliset laskelmat pätevät vain tutkimuksessa tarkastellulle laitokselle, joten jätteenkäsittelylaitosta suunniteltaessa tulee tehdä laitoskohtaiset tarkastelut jätevirroista ja taloudellisesta kannattavuudesta.

Vertailtaessa kolmea vaihtoehtoa lajitteluareenan jätevirroissa, oli skenaario 2 jätteenkäsittelijälle paras vaihtoehto. Tässä skenaariossa materiaalien talteenottoasteet ovat kuitenkin puulle, pahville ja metalleille 90 % sekä kipsilevyille 70 %. Näin korkeita talteenottoasteita on käytännössä vaikea saavuttaa, vaikka käsittelyssä käytettäisiin kehittyneitä lajittelu- ja erottelumenetelmiä. Teknisten esteiden lisäksi materiaalkierrätystä voi estää materiaalien laatuun liittyvät ongelmat ja ennakkoluulot. Kierrätettävät materiaali-jakeet tulisi saada eroteltua riittävän puhtaana jätevirrasta ja materiaalia tulisi myös olla saatavilla riittävästi. Lisäksi neitseellisten raaka-aineiden alhainen hinta voi asettaa haasteita materiaalkierrätyksen kannattavuudelle.

Polttokelpoisen jätteen joukossa on puu- ja muovijätettä ja kuitupohjaista materiaalia, joiden lämpöarvo on hyvä. Tehostamalla käsittelymenetelmiä ja muun muassa poistamalla PVC-muovi ja kipsilevy jätteen seasta lajitteluareenan jätteistä olisi mahdollista prosessoida hyvälaatuista SRF-kierrätyspolttoainetta. Polttokelpoinen jäte sisältää PVC-muovia, josta vapautuu polttoprosessissa klooria. Myös polttokelpoisen jätteen sisältämä kipsilevy voi aiheuttaa ongelmia polttoprosessissa, koska kipsilevystä vapautuu polttoprosessissa



rikkidioksidia, joka on puhdistettava jätteenpolton savukaasuista. Jos lajitteluareenan jätteestä prosessoitaisiin kierrätyspolttoainetta, tulisi PVC-muovi ja kipsilevyt poistaa kierrätyspolttoaineesta prosessoinnin yhteydessä. Muita palamattomia materiaaleja ovat muun muassa kiviainekset ja lasi, mutta näiden osuus polttokelpoisessa jätteessä on vähäinen.

Tehostamalla materiaalien talteenottoa saataisiin myös loppusijoitettavan rejektin ominaisuuksia parannettua orgaanisen aineksen osalta. Jätteenkäsittely ei tällä hetkellä ole riittävä orgaanisen aineksen poistamiseksi loppusijoitettavasta jätteestä. Kaatopaikkakelpoisuustestien perusteella liuenneen orgaanisen aineksen ja orgaanisen aineksen kokonaispitoisuus ylittävät kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot. Orgaanisen aineksen kokonaispitoisuuden raja-arvo 10 % tulee voimaan vuoden 2016 alusta. Tämä kuitenkin edellyttää, että myös liuenneen orgaanisen hiilen raja-arvo 800 mg/kg täyttyy. Diplomityössä tehtyjen laboratoriotutkimusten perusteella lajitteluareenan loppusijoitettavan rejektin liuenneen orgaanisen aineksen pitoisuus on kuitenkin raja-arvoa suurempi. Rejektin lajittelututkimuksen perusteella orgaanista ainesta sisältäviä materiaali-jakeista määrältään suurimmat ovat puu- (7,9 %) ja muovijätteet (3,8 %), jotka tulisi poistaa loppusijoitettavasta rejektistä jätteenkäsittelyn yhteydessä.

Diplomityössä saatuja tutkimustuloksia voidaan hyödyntää lajitteluareenan jätteenkäsittelytoiminnan kehittämisessä ja myös muiden jätehuolto-yhtiöiden toiminnan kehittämisessä. Vuoden 2016 alussa voimaan tuleva orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoituskielto tulee lisäämään sekalaisen ja lajittelemattoman jätteen laitosmaista käsittelyä koko Suomessa. Lisäksi lajittelututkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää lajittelun tason arviointiin ja jäteneuvontaan.

## 8 SUOSITUKSET

Materiaalien talteenoton tehostamiseksi ja kaatopaikalle loppusijoitettavan rejektin laadun parantamiseksi lajitteluareenalla tulisi tehostaa jätteen esilajittelua ja ottaa käyttöön tehokkaampia ja kehittyneempiä jätteiden lajittelu- ja erottelumenetelmiä. Tehostuneella jätteenkäsittelyllä saataisiin poistettua orgaanista ainesta loppusijoitettavasta jätteestä,

jolloin kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot liuenneen orgaanisen aineksen osalta täyttyisivät. Samalla varmistettaisiin, että kokonaisorgaanisen aineksen pitoisuus (TOC) loppusijoitettavassa jätteessä on alle raja-arvon 10 %.

Lajitteluareenalla jätteenkäsittely voisi koostua koneellisista erottelulaitteista koostuvasta käsittelylinjasta, jossa on:

- esilajittelu, jossa poistetaan kierrätettävät materiaalit ja mahdolliset vaaralliset jätteet ja sähkö- ja elektroniikkajäte
- magneettinen erottelu rautametalleille ja pyörrevirtaerotus muille metalleille, kuten alumiinille ja kuparille
- seulonta materiaalien partikkelikoon perusteella, esimerkiksi täry- tai tähtiseulalla
- energiana hyödyntämiseen soveltuvan materiaalin murskaus polttoaineeksi.

Vastaavaa jätteenkäsittelytekniikkaa hyödynnetään muun muassa Turun Seudun Jätehuollon Topinojan jätekeskuksessa rakennusjätteen käsittelyyn. Jätteenkäsittely tulee kuitenkin aina suunnitella lopputuotteiden laatuvaatimusten perusteella taloudelliset näkökohdat huomioiden.

Myös taloudellisen tarkastelun perusteella kierrätettävien materiaalien talteenottoasteen nostaminen mahdollisimman korkeaksi on jätteenkäsittelijälle parempi vaihtoehto kuin jätteen prosessointi toimitettavaksi jätteenpolttolaitokselle. Lajitteluareenalla voitaisiin tehostaa puujätteen ja pahvin talteenottoa ja myös aloittaa käsittelemättömän, kierrätyskelpoisen kipsilevyjätteen talteenotto. Myös käsitellylle kipsilevyjätteelle ja eristevilloille tulisi kartoittaa hyötykäyttökohteita ja hyötykäyttäjiä, koska käsiteltyä kipsilevyä voidaan hyödyntää esimerkiksi maanparannusaineena ja eristevilloja maarakenteiden eristemateriaalina. Muovijätteiden määrä lajitteluareenalla vastaanotettavassa jätteessä on merkittävä, joten myös muovien materiaalikierrätyksen mahdollisuuksia tulisi selvittää. Toisaalta muovin lämpöarvo on korkea ja sekalainen muovijäte soveltuu hyvin kierrätyspolttoaineen raaka-aineeksi. Lisäksi metallijätteestä tulisi

lajitella erikseen arvometallit, kuten kupari, alumiini ja ruostumaton teräs, koska arvometallien hinta on teräsromuun verrattuna huomattavasti korkeampi.

Polttokelpoisesta jätteestä voitaisiin seuloa hienoaines, jonka osuus polttokelpoisessa jätteessä lajittelututkimuksen mukaan on jopa 26 %. Polttokelpoisen jätteen hienoaines täyttää kaatopaikkakelpoisuuden vaatimukset, joten sitä voidaan hyödyntää jäteverottomana loppusijoitusalueen peitemateriaalina. Seulonnan avulla myös polttokelpoisen jätteen laatu polttoaineena paranisi, koska hienoaines on suurelta osin epäorgaanista palamatonta materiaalia.

Lajittelututkimusten ja käsittelyn jätteen koostumuksen perusteella lajitteluareenalla olisi mahdollista valmistaa jätteestä hyvälaatuista SRF-kierrätyspolttoainetta. Kierrätyspolttoaineen valmistus vaatisi kuitenkin kehittyneempien jätteenkäsittelytekniikoiden käyttöönottoa. Kierrätyspolttoaineilla on kuitenkin yleisesti taloudellisesti positiivinen arvo, joten ainakin polttoaineen kuljetuksista aiheutuvat kustannukset voitaisiin kattaa kierrätyspolttoaineesta saatavalla tuotolla. Kierrätyspolttoaineen valmistuksella voitaisiin vähentää yhdyskuntajätteenpolttolaitokselle toimitettavan polttokelpoisen jätteen määrää, jolloin jätteenpolton kustannukset todennäköisesti laskisivat. Ennen kierrätyspolttoaineen valmistuksen aloittamista tulisi kuitenkin selvittää prosessointikustannukset ja kierrätyspolttoainetta hyödyntävien laitosten polttoaineen tarve Oulun alueella. Kierrätyspolttoaineen laatua voitaisiin myös jatkossa tutkia kierrätyspolttoaineanalyysillä.



## LÄHTEET

Anon, 2008. *Kohti kierrätysyhteiskuntaa. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016.* Suomen ympäristö 32/2008. Ympäristöministeriö, Helsinki: Edita Prima Oy. Saatavissa: <http://www.environment.fi/download.asp?contentid=91466&lan=fi>. [Viitattu 13.4.2013]. ISBN 978-952-11-3215-5 (painettu). ISBN 978-952-11-3216-2 (sähköinen).

Bilitewski, B. 2010. *Mechanical Treatment: Unit Processes.* Teoksessa: Christensen, T.H. (ed.) *Solid Waste Technology and Management.* 1<sup>st</sup> ed. S. 321-348. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley. ISBN 978-0-47-066-696-8 (sähköinen). ISBN 978-140-517-517-3 (painettu).

Bringezu, S. & Moriguchi, Y. 2002. *Material flow analysis.* Teoksessa: Ayres, R.U. & Ayres, L.W. (eds.) *A Handbook of Industrial Ecology.* 1<sup>st</sup> ed. Cheltenham, United Kingdom: Edward Elgar Publishing Limited. 688 s. Saatavissa: [http://iepoi.uni-mb.si/samec/Handbook\\_Industrial\\_Ecology\\_2002.pdf](http://iepoi.uni-mb.si/samec/Handbook_Industrial_Ecology_2002.pdf). [Viitattu 20.9.2012]. ISBN 1-8406-4506-7 (painettu).

Brunner, P.H. & Rechberger, H. 2004. *Practical Handbook of material flow analysis. Advanced methods in resource and waste management.* 1<sup>st</sup> ed. Boca Raton, Florida, USA: Lewis Publishers. 381 s. ISBN 1-5667-0604-1 (painettu).

Cencic, O. 2004. *Software for MFA.* Teoksessa: Brunner, P.H. (ed.) & Rechberger, H. *Practical Handbook of material flow analysis. Advanced methods in resource and waste management.* Boca Raton, Florida, USA: Lewis Publishers. S. 80-133. ISBN 1-5667-0604-1 (painettu).

Cencic, O. & Rechberger, H. 2008. *Material Flow Analysis with Software STAN.* *Journal of Environmental Engineering and Management.* Vol. 18(1). S. 3-7. [http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/CENCIC%20and%20RECHBERGER%202008%20Material%20Flow%20Analysis%20with%20Software%20STAN.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CENCIC%20and%20RECHBERGER%202008%20Material%20Flow%20Analysis%20with%20Software%20STAN.pdf). [Viitattu 13.9.2012]. ISSN 1022-7636.

Christensen, T.H. 2010. *Solid Waste Technology and Management.* 1<sup>st</sup> ed. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley. 1056 s. ISBN 978-0-47-066-696-8 (sähköinen). ISBN 978-140-517-517-3 (painettu).

Christensen, T.H. (ed.) & Andersen, L. 2010. *Construction and Demolition Waste*. Teoksessa: Christensen, T.H. (ed.) *Solid Waste Technology and Management*. 1<sup>st</sup> ed. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley. S. 104-109. ISBN 978-0-47-066-696-8 (sähköinen). ISBN 978-140-517-517-3 (painettu).

Christensen, T.H. (ed.) & Bilitewski, B. 2010. *Mechanical Treatment: Material Recovery Facilities*. Teoksessa: Christensen, T.H. (ed.) *Solid Waste Technology and Management*. 1<sup>st</sup> ed. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley. S. 349-362. ISBN 978-0-47-066-696-8 (sähköinen). ISBN 978-140-517-517-3 (painettu).

Christensen, T.H. (ed.) & Birgisdottir, H. 2010. *Recycling of Construction and Demolition Waste*. Teoksessa: Christensen, T.H. (ed.) *Solid Waste Technology and Management*. 1<sup>st</sup> ed. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley. S. 243-249. ISBN 978-0-47-066-696-8 (sähköinen). ISBN 978-140-517-517-3 (painettu).

Damgaard, A. & Christensen, T.H. (ed.) 2010. *Recycling of Metals*. Teoksessa: Christensen, T.H. (ed.) *Solid Waste Technology and Management*. 1<sup>st</sup> ed. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley. S. 234-242. ISBN 978-0-47-066-696-8 (sähköinen). ISBN 978-140-517-517-3 (painettu).

FCG Finnish Consulting Group Oy 2010. *Jätehuollon taloudellinen merkitys ja kustannukset*. Ympäristöministeriön raportteja 12/2010. Ympäristöministeriö, Helsinki. ISSN 1796-170X (sähköinen). ISBN 978-952-11-3757-0 (painettu). 153 s. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=117613&lan=fi>. [Viitattu 12.3.2013].

Green Net Finland ry 2005. *Rakennusmateriaalin hyötykäytön lisääminen. Selvitys pientalorakentamiseen liittyvän rakennusmateriaalijätteen muodostumisesta, määristä, käsittelytavoista, kuljetuslogistiikasta sekä hyötykäytön kehittämismahdollisuuksista Uudellamaalla ja EKES-kuntayhtymän alueella*. 63 s. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://www.greenetfinland.fi/fi/images/e/e4/Rakjate\\_loppuraportti.pdf](http://www.greenetfinland.fi/fi/images/e/e4/Rakjate_loppuraportti.pdf). [Viitattu 29.1.2013].

Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2012. *Rakennussekajäte*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa:

[http://www.hsy.fi/jatehuolto/jatteiden\\_lajittelu/rakennusjate/Sivut/Rakennussekajate.aspx](http://www.hsy.fi/jatehuolto/jatteiden_lajittelu/rakennusjate/Sivut/Rakennussekajate.aspx).  
[Viitattu 15.1.2013].

HS-Tekniikka 2013. *Murskaimet ja haketus – Jätteenkäsittely*. [Verkkodokumentti].  
Saatavissa: <http://www.hstekniikka.com/jatteenkasittely.php>. [Viitattu 12.3.2013].

Illikainen, M. 2011. *Oulun seudun jätehuolto Euroopan kärkeen. Ympäristö ja Terveyslehti*. Vol 10, S. 48-51.

Jonsson, T. 2012. *Pirkanmaan alueen jätelajittelututkimus 2011. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, kemiantekniikka*. Tampere. 90 s. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38473/Jonsson\\_Tiina.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38473/Jonsson_Tiina.pdf?sequence=1). [Viitattu 19.11.2012].

Jätelaitosyhdistys 2013. *Jätteen energiahyödyntäminen*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.jly.fi/energia1.php?treeviewid=tree3&nodeid=1>. [Viitattu 26.3.2013].

Jätelaki 646/2011. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=j%C3%A4telaki>. [Viitattu 18.6.2013].

Jäteverolaki 1126/2010. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101126?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=j%C3%A4teverolaki>. [Viitattu 20.3.2013].

Kangasniemi, J. 2013. Oulun Jätehuolto liikelaitos, kehityspäällikkö. Suullinen tiedonanto 13.4.2013.

Knuutila H., Syyräkki, S. Nummela, E., Helén, R. ja Tyni, T. 2008. *Jätelaitosten raportointi ja tunnushuvut (JLRap II –hanke)*. FCG Efeko Oy. Helsinki. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://www.jly.fi/jlrap2\\_loppuraportti.pdf](http://www.jly.fi/jlrap2_loppuraportti.pdf). [Viitattu 19.11.2012].

Kojo, R. & Lilja, R. 2011. *Talonrakentamisen materiaalitehokkuuden edistäminen*. Ympäristöministeriön raportteja 21/2011. Ympäristöministeriö, Helsinki. 99 s. [Verkkodokumentti]. Saatavissa:



<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=128219&lan=fi>. [Viitattu 15.10.2012].  
ISSN 1796-170X (sähköinen). ISBN 978-952-11-3905-5 (painettu).

Kokkonen, E. 2004. *Pk-yritysten mahdollisuudet rakennusjätteiden kierrätysliiketoiminnassa*. KTM Julkaisuja 29/2004. Kauppa- ja teollisuusministeriö. [Verkkodokumentti]. Saatavissa:

[http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm\\_jur/ktmjur.nsf/All/30EC14F9CAF68E62C2256F3C0046FC1B/\\$file/jul29elo\\_2004.pdf](http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/30EC14F9CAF68E62C2256F3C0046FC1B/$file/jul29elo_2004.pdf). [Viitattu 15.10.2012].

Konejussi Oy 2012. Toimitusjohtaja Juhani Puttonen. Suullinen tiedonanto 14.12.2012.

Kuosa, H. 2012. *Reuse of recycled aggregates and other C&D wastes*. VTT raportteja 5984. 71 s. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2012/VTT-R-05984-12.pdf>. [Viitattu 11.12.2012].

Leverenz, H. & Kreith, F. 2002. *Markets and Products for Recycled Material*. Teoksessa: Tchobanoglous, G. & Kreith, F. (eds.) *Handbook of Solid Waste Management*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, USA: McGraw-Hill. S. 9.1-9.17. ISBN 0-07-135623-1 (painettu).

Leverenz, H., Tchobanoglous, G. & Spencer, D.B. 2002. *Recycling*. Teoksessa: Tchobanoglous, G. & Kreith, F. (eds.) *Handbook of Solid Waste Management*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, USA: McGraw-Hill. S. 8.1-8.77. ISBN 0-07-135623-1 (painettu).

Massarutto, A., de Garli, A., & Graffi, M. 2011. *Material and energy recovery in integrated waste management systems: A life-cycle costing approach*. *Waste Management*. Vol 31(9-10). S. 2102-2111.

Meinander, M., Mroueh, U.-M. (eds.), Bacher, J., Laine-Ylijoki, J., Wahlström, M., Jermakka, J., Teirasvuori, N. & Kuosa, H. (VTT), Törn, M., Laaksonen, J., Heiskanen, J., Kaila, J. & Vanhanen, H. (Aalto yliopisto), Dahlbo, H., Saramäki, K., Jouttijärvi, T., Mattila, T., Retkin, R., Suoheimo, P., Lähtinen, K., Sironen, S., Sorvari, J. & Myllymaa, T. (SYKE), Havukainen, J., Horttanainen, M. & Luoranen, T. (Lappeenranta teknillinen yliopisto) 2012. *Directions of future developments in waste recycling*. VTT Technology 60, Espoo. 86 s. + liitt. 80 s. [Verkkodokumentti]. Saatavissa:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T60.pdf>. [Viitattu 12.2.2013]. ISSN 2242-122X (sähköinen). ISBN 978-951-38-7893-1 (painettu).

Merrild, H. & Christensen, T.H. (ed.) 2010. *Introduction to Waste Economics*. Teoksessa: Christensen, T.H. (ed.) *Solid Waste Technology and Management*. 1<sup>st</sup> ed. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley. S. 29-51. ISBN 978-0-47-066-696-8 (sähköinen). ISBN 978-140-517-517-3 (painettu).

Mroueh, U.-M., Ajanko-Laurikko, A., Arnold, M., Laiho, A., Wihersaari, M. & Savolainen, I. (VTT), Dahlbo, H. & Korhonen, M.-R. (Suomen ympäristökeskus) 2007. *Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä*. VTT tiedotteita 2402. 170 s. + liitt. 5 s. VTT, Espoo 2007. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2402.pdf>. [Viitattu 12.2.2013]. ISBN 978-951-38-6960-1 (sähköinen). ISBN 978-951-38-6959-5 (painettu).

Myllymaa, T., Tohka, A., Dahlbo, H. & Tenhunen, J. 2006. *Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina*. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaselvitys Osa III. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2006. 72 s. Helsinki: Ympäristöministeriö, Edita Prima. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=57493>. [Viitattu 14.9.2012]. ISBN 952-11-2391-5 (sähköinen). ISBN 952-11-2390-7 (painettu).

Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Rantanen, P., Ollikainen, M. & Dahlbo, H. 2008. *Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset*. Inventaarioraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008. Suomen ympäristökeskus, Edita Prima, Helsinki. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=92262>. [Viitattu 16.10.2012]. ISSN 1796-1726 (sähköinen). ISBN 978-952-11-3251-3 (painettu).

Neuenhauser Umwelttechnik 2013. *Tähtiseula (Star screens)*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.neuenhauser-umwelttechnik.de/en/mobile-technics/star-screens.html>. [Viitattu 13.4.2013].

Oulun Energia 2012. *Laanilan Ekovoimalaitos*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://www.oulunenergia.fi/energiatuotanto/laanilan\\_ekovoimalaitos](http://www.oulunenergia.fi/energiatuotanto/laanilan_ekovoimalaitos). [Viitattu 26.9.2012].



Oulun Jätehuolto 2013. *Tehtävä ja toimialue*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [www.ouka.fi/jatehuolto](http://www.ouka.fi/jatehuolto). [Viitattu 26.3.2013].

Oulun Jätehuolto 2012. *Toimintakertomus 2011*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://oulu.ouka.fi/jatehuolto/julkaisut/toimintakertomukset.html>. [Viitattu 26.3.2013].

Paperinkeräys Oy 2012. *Materiaalien osto ja vastaanotto*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.paperinkerays.fi/yrityksille/tuotteet/materiaalien-ostopalvelu>. [Viitattu 13.3.2013].

Paroc 2012. *Kestävä kehitys*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.paroc.fi/knowhow/kestava-kehitys>. [Viitattu 27.11.2012].

Tam, V.W.Y. & Tam, C.M. 2006. *A review on the viable technology for construction waste recycling. Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 47(3), S. 209-221.

Tilastokeskus 2011. *Jätetilasto 2011*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/jate/2011/jate\\_2011\\_2012-11-20\\_fi.pdf](http://www.stat.fi/til/jate/2011/jate_2011_2012-11-20_fi.pdf). [Viitattu 21.11.2012].

Uusioaines Oy 2012. *Vaahtolasi*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.foamit.fi/DowebEasyCMS/?Page=FoamitTervetuloa>. [Viitattu 27.11.2012].

Valtioneuvoston asetus jätteistä annetusta valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta (Vna 332/2013). [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130332>. [Viitattu 18.6.2013].

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (Vna 331/2013). [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130331>. [Viitattu 18.6.2013].

Valtioneuvoston päätös rakennusjätteistä (Vnp 295/1997). [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1997/19970295?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=p%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%20rakennusj%C3%A4tteist%C3%A4>. [Viitattu 18.6.2013].

Vanhala, S. 2010. *Kaatopaikka- ja rakennusjätteen lavakuormien laatututkimus Kujalan jätekeskuksessa. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu, ympäristötekniikan koulutusohjelma. Lahti. 36 s.* [Verkkodokumentti]. Saatavissa:



[http://ymparisto.lahtisbp.fi/easydata/customers/ymparisto/files/kuva/kaatopaikka\\_ja\\_rakennusjätteen\\_lavakuormien\\_laaturukimus\\_kujalan\\_jatekeskuksessa\\_2010.pdf](http://ymparisto.lahtisbp.fi/easydata/customers/ymparisto/files/kuva/kaatopaikka_ja_rakennusjätteen_lavakuormien_laaturukimus_kujalan_jatekeskuksessa_2010.pdf). [Viitattu 14.9.2012].

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J. & Jermakka, J. 2012. *Taustamuistio kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamista varten*. Ympäristöministeriön raportteja 11/2012. Ympäristöministeriö, Helsinki. 33 s. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B7B9316F5-9C05-44A7-ACA0-27FE9329D6C9%7D/27225>. [Viitattu 14.9.2012]. ISSN 1796-170X (sähköinen). ISBN 978-952-11-4041-9 (painettu).

Wienin teknillinen yliopisto 2012. *STAN user manual*. Wien, Austria: *Institute for Water Quality, Resources and Waste Management*. s. 106. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.stan2web.net/NetHelp/default.htm?url=HTMLDocuments%2FInstall.htm>. [Viitattu 5.7.2013].

Ympäristöyritysten liitto 2012. *Tietoa kierrätyksestä*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.ymparistoyritykset.fi/tietoa-kierratyksesta>. [Viitattu 28.11.2012].

Ympäristöministeriö 2013. *Jätteeksi luokittelun päätyminen*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Jatelainsaadanto/Jatteeksi\\_luokittelun\\_paattyminen](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Jatelainsaadanto/Jatteeksi_luokittelun_paattyminen). [Viitattu 24.5.2013].

ZenRobotics Oy 2013. *ZenRobotics Recycler*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.zenrobotics.com/fi/product/>. [Viitattu 26.3.2013].

#### Julkaisemattomat lähteet:

Bachér, J. 2012. *Material flow and technical analysis report (C&D-waste)*. Taustaselvitys NeReMa –Uusien Materiaalin Kestävä Kierrätys -hankkeeseen. VTT. 37 s.

Jermakka, J. 2011. *Municipal Solid Waste stream analysis*. Taustaselvitys NeReMa –Uusien Materiaalien Kestävä Kierrätys-hankkeeseen. VTT. 33 s.



Standardit:

SFS-EN 15359. Kiinteät kierrätyspolttoaineet. Vaatimukset ja luokat. (Solid recovered fuels. Specifications and classes). Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 15400. Solid recovered fuels. Determination of calorific value. Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 15408. Solid recovered fuels. Methods for the determination of sulphur (S), chlorine (Cl), fluorine (F) and bromine (Br) content. Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 15411. Solid recovered fuels. Methods for the determination of the content of trace elements (As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V and Zn). Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 13137. Jätteiden karakterisointi. Jätteessä, lietteissä ja maakerroksissa olevan kokonaisorgaanisen hiilen (TOC) määrittäminen. (Characterization of waste. Determination of total organic carbon (TOC) in waste, sludges and sediments). Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 15169. Jätteiden karakterisointi. Jätteen, lietteen ja sakan hehkutushäviön määrittäminen. (Characterization of waste. Determination of loss on ignition in waste, sludge and sediments). Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 12457-2. Jätteiden karakterisointi. Liukoisuus. Jauhemaisten tai rakeisten jätemateriaalien ja lietteiden liukoisuuden laadunvalvontatesti. Osa 2: Yksivaiheinen ravistelutesti uuttoliuoksen ja kiinteän jätteen suhteessa 10 l/kg jätteen raekoon ollessa alle 4 mm (raekoon pienentäminen tarvittaessa). (Characterization of waste. Leaching. Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges. Part 2: One stage test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 4 mm (without or with size reduction)). Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 14899. Jätteiden karakterisointi. Jätemateriaalien näytteenotto: kehys näytteenottosuunnitelman esivalmisteluun ja sovellukseen. (Characterization of waste. Sampling of waste materials. Framework for the preparation and application of a Sampling Plan). Suomen standardoimisliitto SFS.



SFS. CEN/TR 15310-2. 2006. Jätteiden karakterisointi. Jätemateriaalien näytteenotto. Osa 2: Näytteenottotekniikoiden ohjeistus. (Characterization of waste. Sampling of waste materials. Part 2: Guidance on sampling techniques). Suomen standardoimisliitto SFS. CEN tekninen raportti.

SFS. CEN/TR 15310-3. 2006. Jätteiden karakterisointi. Jätemateriaalien näytteenotto. Osa 3: Kentällä tapahtuvaa näytteenottoa koskevia ohjeita. (Characterization of waste. Sampling of waste materials. Part 3: Guidance on procedures for subsampling in the field). Suomen standardoimisliitto SFS. CEN tekninen raportti.

## **NÄYTTEENOTTOSUUNNITELMA**

### **1 Näytteenoton osapuolet**

Näytteenottosuunnitelman osapuolet ovat diplomityöntekijä, diplomityön ohjaajat ja valvoja, jätteenkäsittelijät, näytteenottajat ja analyysit suorittava laboratorio.

### **2 Näytteenottosuunnitelman tavoitteet**

Näytteenoton tavoitteena on edustavan näytteen otto polttokelpoisesta jätteestä kierrätyspolttoaineanalyysiin ja jätteenkäsittelyprosessista muodostuvasta kaatopaikalle sijoitettavasta rejektistä. Jätteenkäsittelyssä rejektiin päätyvät jätteen lajittelusta hyödyntämiskelvottomat materiaalit, joita ei voida myöskään voida hyödyntää energiana. Näytteenottosuunnitelmassa laaditaan ohjeistus kentällä tapahtuvaan näytteenottoon, näytteen esikäsittelyyn, pakkaamiseen ja varastointiin. Tutkimusnäytteiden otossa on myös huomioitava tutkivan laboratorion antama ohjeistus muun muassa näytteen esikäsittelystä.

### **3 Näytteestä tutkittavat parametrit**

Polttokelpoisesta jätteestä tutkitaan polttoaineen laatu kierrätyspolttoaineanalyysillä, jossa määritetään polttoaineen kosteus-, tuhka- ja klooripitoisuudet ja lämpöarvo (kalorimetrinen ja tehollinen) sekä raskasmetallien pitoisuudet. Kaatopaikalle loppusijoitettavan rejektin karakterisointia varten tutkitaan rejektin kaatopaikkakelpoisuus. Kaatopaikkakelpoisuustestauksessa määritetään haitta-aineiden liukoisuusominaisuudet 2-vaiheisella ravistelutestillä ja kokonaisorgaanisen hiilen (TOC) pitoisuus, hehkutushäviö (LOI), pH sekä haponneutralointikapasiteetti (ANC). Jätteen liukoisuusominaisuuksia verrataan valtioneuvoston asetuksen tavanomaisen jätteen kaatopaikan raja-arvoihin.

### **4 Tutkittavien materiaalien taustatiedot**

#### **4.1 Näytteiden lukumäärä ja näytteenottopaikka**

Polttokelpoisen jätteen laadun tutkimiseksi otetaan yksi näyte murskatusta polttokelpoisesta jätteestä. Rejektin orgaanisen aineen kokonaispitoisuuden määrittämiseen otetaan näytteet kuudesta lajittelututkimuksen rejektikuormasta. Kahdesta rejektikuormasta tehdään

kaatopaikkakelpoisuustestaus siten, että toinen tutkittavista näytteistä kerätään kokoomanäytteeksi lajittelututkimuksen rejektikuormista 4, 5 ja 6. Tutkittavat näytteet otetaan jätteenkäsittelijän ja loppusijoittajan kanssa sovittuina ajankohtina.

#### **4.2 Näytemateriaalien synty tapa**

Polttokelpoinen jäte syntyy lajitteluareenalla jätteen lajittelussa ja se toimitetaan jätteenpolttolaitokselle murskauksen jälkeen. Polttokelpoisen jätteen partikkelikoko on alle 0,8 m x 0,8 m x 0,8 m. Jätteenkäsittelyn rejekti muodostuu jätteen manuaalisessa ja koneellisessa lajittelussa. Kaatopaikalle sijoitettava rejekti on lajittelussa muodostuvaa hyödyntämiskelvotonta ja palamatonta materiaalia.

#### **4.3 Näytemateriaalin tyyppi**

Polttokelpoinen jäte murskataan jätemurskaimella polttoon soveltuvaan palakokoon, joten jättemateriaali on homogeenistä ja partikkelikooltaan yhdenmukaista. Tutkittava rejekti on puolestaan heterogeenistä partikkelikooltaan vaihtelevaa materiaalia, joka sisältää muun muassa eristevillaa, kipsilevyä, muoviva sekä puuta ja metalleja.

### **5 Näytteenoton turvallisuus**

Näytteenotosta sovitaan etukäteen jätteenkäsittelijän ja loppusijoittajan kanssa. Näytteenotossa on mukana diplomityöntekijä ja loppusijoittajan edustaja sekä mahdollisesti jätteenkäsittelystä vastaava henkilöstö. Näytteenotossa noudatetaan loppusijoittajan turvamääräyksiä henkilökohtaisista suojaamisista ja turvavarusteista.

### **6 Näytteenotto**

Polttokelpoisen jätteen näytteenotto tehdään satunnaisotannalla ja rejektin näytteenotto harkinnanvaraisella otannalla. Rejekti on heterogeenistä jättemateriaalia, jonka partikkelikoko vaihtelee hienojakoisesta aineksesta hyvinkin suuriin jättekappaleisiin. Jättemateriaalin ominaisuuksien vuoksi näytteenotto suoritetaan lajittelemalla valittu rejektikuorma määriteltuihin materiaali jakeisiin, joista varsinainen näyte kootaan punnitsemalla.



### **6.1 Polttokelpoisen näytteenotto satunnaisotannalla**

Polttokelpoisen näytteenotossa noudatetaan standardin CEN/TR 15310-2 osan 11 ”Näytteenotto karkeasta kiinteästä aineksesta” kohdan 11.2. ”Suuri muuttumaton määrä” mukaisesti satunnaisotantaa (11.2.3). Näytteenotto tehdään lapiolla.

Näytteenoton vaiheet:

1. Määritetään näytteen kokonaismäärä (20 l)
2. Merkitään osanäytteiden ottopaikat (vähintään 10)
3. Kerätään varsinainen näyte osanäytteiden ottopaikoista näyteastian tai jätessäkkiin
4. Lisätään näytteeseen näytetunnistetiedot (ottopaikka, näytteen nimi ja päivämäärä)

### **6.2 Rejektin näytteenotto harkinnanvaraisella otannalla**

Rejektin näytteenotossa noudatetaan soveltaen standardin CEN/TR 15310-2 mukaista ohjeistusta osan 12. ”Näytteenotto karkeasta kiinteästä aineksesta” kohdan 12.1. ”Näytteenotto karkeasta tai paakkuisesta materiaalista” mukaisesti harkinnanvaraisella otannalla kohdan 12.1. ”Suuri staattinen määrä” mukaista harkinnanvaraista otantaa (12.1.4). Näytteet esikäsittelään laboratoriossa partikkelikoon pienentämiseksi. Näytteenottoa varten jätekuormasta varsinainen näyte kootaan harkinnanvaraisesti laboratorionäytteeksi. Laboratorionäytettä varten kaikkia jätekuorman sisältämiä materiaali-jakeita otetaan määrällisesti yhtä paljon varsinaiseen näytteeseen.

Näytteenoton vaiheet:

#### **Vaihe I**

1. Puretaan valittu jätekuorma näytteenottoalueelle
2. Lajitellaan jätekuorma määriteltäviin materiaali-jakeisiin
3. Punnitaan materiaali-jakeet ja määritetään jokaisen materiaali-jakeen osuudet

## **Vaihe II**

1. Määritellään näytteen kokonaismäärä (2 kg) ja määritellään näytteeseen punnittavien materiaaliainekkeiden osuudet
2. Punnitaan laboratorionäytteeseen massaltaan vertailukelpoisesti yhtä paljon näytteelle varattuun astiaan tai jätessäkkiin
4. Lisätään näytteeseen näytetunnistetiedot (ottopaikka, näytteen nimi ja päivämäärä)
5. Näyte toimitetaan laboratorioon, jossa näyte pienennetään analyysin vaatimaan palakokoon

### **6.2 Näytteen pakkaaminen, säilytys ja kuljetus**

Näytteiden pakkaamisessa, säilytyksessä ja kuljetuksessa tulee estää näytteiden kontaminoituminen. Näytteiden pakkaaminen, säilytys, varastointi ja kuljetus on ohjeistettu standardissa CEN/TR 15310-4. Näytteiden osalta noudatetaan myös tutkivan laboratorion ohjeistusta. Näytteenotto tulee ajoittaa niin, että näytteet voidaan toimittaa mahdollisimman nopeasti laboratorioon, viimeistään seuraavana päivänä.

### **6.3 Näytteenoton dokumentointi**

Näytteenotosta tehdään näytteenottoraportti jokaiselle näytteelle erikseen. Näytteenotto dokumentoidaan tarvittaessa myös valokuvin.

Taulukko 11. Materiaalivirta-analyysin lähtötiedot nykytilanteessa

	Määrä	Kustannus tai tuotto	Kustannukset	Tuotot
<b>NYKYTILANNE</b>	[t/6kk]	[€/t]	[€/6kk]	[€/6kk]
<b>Jättemaksu seka- ja rakennusjäte</b>	<b>12 624</b>	<b>87,61 / 102</b>		<b>?</b>
Materiaalihyödynnettävät jakeet	2 038	39	?	
Polttokelpoinen jäte	9 320	75	?	
Rejekti	1 266	80	?	
<b>Myyntituotot yhteensä</b>				<b>68 092</b>
Puu	1 197	20		23 940
Metallit	322	137		44 114
Pahvi	3,2	12		38
<b>Käsittelykustannukset yhteensä</b>			<b>113 549</b>	
Puu	1 197	17	20 349	
Polttokelpoinen jäte	9 320	10	93 200	
<b>Kuljetuskustannukset yhteensä</b>			<b>98 684</b>	
Materiaalihyödynnettävät jakeet	2 038	12	24 456	
Polttokelpoinen jäte	9 320	7	65 788	
Rejekti	1 266	7	8 440	



Taulukko 12. Materiaalivirta-analyysin lähtötiedot skenaariossa 1

	<b>Määrä</b>	<b>Kustannus tai tuotto</b>	<b>Kustannukset</b>	<b>Tuotot</b>
<b>SKENAARIO 1</b>	[t/6kk]	[€/t]	[€/6kk]	[€/6kk]
<b>Jätmaksu seka- ja rakennusjäte</b>	<b>12 624</b>			<b>?</b>
Materiaalihyödynnettävät	3 268	39	?	
Polttokelpoinen jäte	8 190	75	?	
Rejekti	1 166	80	?	
<b>Myyntituotot yhteensä</b>				<b>88 054</b>
Puu	2127	20		42 540
Metallit	322	137		44 114
Pahvi	200	12		2 400
Kipsilevyt	100	-10		-1 000
<b>Käsittelykustannukset yhteensä</b>			<b>118 059</b>	
Puu	2 127	17	36 159	
Polttokelpoinen jäte	8 190	10	81 900	
<b>Kuljetuskustannukset yhteensä</b>			<b>108 301</b>	
Materiaalihyödynnettävät jakeet	3 268	12	39 216	
Polttokelpoinen jäte	8 190	7	57 812	
Rejekti	1 166	7	7 773	
kipsi	100	35	3 500	

Taulukko 13. Materiaalivirta-analyysin lähtötiedot skenaariossa 2

	Määrä	Kustannus tai tuotto	Kustannukset	Tuotot
<b>SKENAARIO 2</b>	[t/6kk]	[€/t]	[€/6kk]	[€/6kk]
<b>Jättemaksu seka- ja rakennusjäte</b>	<b>12 624</b>			<b>?</b>
Materiaalihyödynnettävät	4 180	39	?	
Polttokelpoinen jäte	7 372	75	?	
Rejekti	1 072	80	?	
<b>Myyntituotot yhteensä</b>				<b>112 759</b>
Puu	2 692	20		53 840
Metallit	423	137		57 883
Pahvi	248	12		2 976
Kipsilevyt	194	-10		-1 940
<b>Käsittelykustannukset yhteensä</b>		<b>10 / 17</b>	<b>119 484</b>	
Puu	2 692	17	45 764	
Polttokelpoinen jäte	7 372	10	73 720	
<b>Kuljetuskustannukset yhteensä</b>			<b>116 135</b>	
Materiaalihyödynnettävät jakeet	4 180	12	50 160	
Polttokelpoinen jäte	7 372	7	52 038	
Rejekti	1 072	7	7 147	
Kipsilevyt	194	35	6 790	